

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять, виконання
розрахунково-графічного завдання та самостійної роботи
з дисципліни

"СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ВОДОПІДГОТОВКИ"

*(для студентів 5-6 курсів денної і заочної форм навчання
спеціальностей 7.06010108 – Водопостачання та водовідведення та
7.06010302 – Раціональне використання і охорона водних ресурсів)*

Методичні вказівки до проведення практичних занять, виконання розрахунково-графічного завдання та самостійної роботи з дисципліни "Спеціальні методи водопідготовки" (для студентів 5-6 курсів денної і заочної форм навчання спеціальностей 7.06010108 – Водопостачання та водовідведення та 7.06010302 – Рациональне використання і охорона водних ресурсів) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: К. Б. Сорокіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 71 с.

Укладач: К. Б. Сорокіна

Рецензент: канд. техн. наук, доц. В. О. Ткачов

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 27.08.2013 р.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	4
1. ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ.....	5
2. ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	9
3. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО- ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	25
3.1 Загальні положення.....	25
3.2 Вибір схеми зм'якшення і визначення розрахункових витрат.....	28
3.3 Розрахунок освітлювальних фільтрів.....	29
3.4 Розрахунок натрій-катіонітових фільтрів.....	31
3.5. Додаткові споруди та устаткування.....	36
3.5.1 Склад для зберігання солі.....	37
3.5.2 Склад для зберігання сипучих фільтруючих матеріалів.....	38
3.5.3 Устаткування для розпушуючого промивання.....	39
3.5.4 Устаткування для регенерації натрій-катіонітових фільтрів.....	40
3.5.5 Відмивання натрій-катіонітових фільтрів.....	40
3.6 Методи знешкодження стічних вод від натрій-катіонітових хімводоочисток.....	41
3.7 Компонування устаткування хімводоочистки.....	42
3.8 Приклад розрахунку.....	43
4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	56
РЕКОМЕНДОВАНИЙ СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	62
ДОДАТКИ.....	63

ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Спеціальні методи водопідготовки» є формування у майбутніх фахівців знань, пов'язаних з вирішенням питань очищення води від розчинених в ній домішок для доведення якості природної води до показників питної, підготовки глибокоочищеної води, а також обробки стічних вод з метою виділення з них цінних речовин, організації безстічного водопостачання та зменшення шкідливого впливу стічних вод на навколишнє середовище.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Спеціальні методи водопідготовки» є теоретична і практична підготовка студентів з питань:

- основні положення та вимоги державних стандартів до якості води, використовуваної для питного та технічного водопостачання;
- класифікації домішок природних вод та процесів підготовки води відповідно до фазово-дисперсного стану домішок;
- основні процеси, які можуть бути застосовані для видалення з води розчинених домішок;
- конструктивні особливості технологічного оформлення видалення з води розчинених домішок;
- основні принципи розрахунку установок для видалення з води розчинених домішок.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

знати:

- основні вимоги до якості води, застосовуваної для споживання різними категоріями споживачів;
- основні процеси та обладнання, використовуване для видалення з води розчинених домішок;
- основні методики розрахунків та принципи конструювання різноманітних комплексів водоочисних споруд залежно від якості води в джерелі водоспоживання;

вміти :

- порівнювати результати аналізів водно-фізичних і гідрохімічних властивостей природних сировинних ресурсів з відповідними нормативами, оцінювати їх придатність і вибирати для використання;
- розраховувати і конструювати різноманітні споруди для очистки і знезараження питної води;
- розраховувати і конструювати різноманітні споруди для обробки стічної води залежно від її забрудненості та вимог до якості очищеної води;
- користуватися науково-технічною літературою і технічною документацією і застосовувати отримані знання на практиці.

1. ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

ЗМ 1.1. ЗМ'ЯКШЕННЯ. ІОННИЙ ОБМІН. ДЕЗОДОРАЦІЯ. ФТОРУВАННЯ. ДЕФТОРУВАННЯ

ТЕМА 1. Зм'якшення води

1. Основи процесів і класифікація методів зм'якшення води.

Жорсткість води; види жорсткості. Теоретичні основи зм'якшення води, класифікація методів.

2. Термічний метод зм'якшення води.

Рівняння карбонатної рівноваги. Підігрівачі змішуючого та каскадного типів: схема, принцип роботи.

3. Реагентні методи зм'якшення води.

Реагентні методи зм'якшення води: вапнування, вапняно-содовий, содово-натрієвий, фосфатний, барієвий, оксалатний. Технологічне оформлення реагентного зм'якшення води: застосування вертикальних відстійників, вихрових реакторів, схема з апаратами гідроциклонного типу.

4. Термохімічний метод зм'якшення води. Регенерація вапна з осаду водозм'якшувальних установок.

Термохімічне зм'якшення води: схеми з реагентами та підігрівачами, установка типа «Струя». Регенерація вапна з осаду відстійників або освітлювачів водозм'якшувальних установок: обґрунтування можливості, принцип реалізації

ТЕМА 2. Застосування іонного обміну для очистки води

1. Суть іонного обміну. Характеристика іонітів. Регенерація іонітів.

Апаратурне оформлення іонообмінного очищення води.

Основи іонного обміну. Характеристика іонітів. Повна, статична та динамічна обмінна ємкість іонітів. Регенерація іонітів: технологічна послідовність операцій, застосовувані регенераційні розчини, протийонний ефект. Технологія іонообмінної підготовки води. Типи іонообмінних фільтрів.

2. Зм'якшення води катіонуванням.

Натрій-катіонітовий метод зм'якшення води. Схеми одно- та двоступінчастого Na-катіонування. Водне-натрій-катіонітовий метод зм'якшення води. Натрій-хлор-іонітний метод зм'якшення води.

3. Знезалізнєння води катіонуванням.

Доцільність та методи реалізації знезалізнєння води катіонуванням.

4. Опріснення і знесолення води іонним обміном.

Принцип іонообмінного знесолення води. Послідовність технологічних операцій. Регенерація іонітних фільтрів при іонообмінному знесоленні.

ТЕМА 3. Деодорація води (усунення запахів, присмаків і токсичних мікрозабруднень води)

1. Джерела появи в природних водах присмаків і запахів.

Джерела виникнення запахів і присмаків природних вод: поява органічних

речовин біологічного походження, скидання промислових стічних вод, неправильна експлуатація очисних споруд.

2. Методи усунення запахів, присмаків і токсичних мікрозабруднень води.

Суть методів дезодорації води і сфери їх застосування. Дезодорація води аерацією. Аератори барботажного, розбризкувального і каскадного типів. Окисні методи дезодорації води: озонування води; використання перманганату калію; хлорування води, перехлорування, хлорування з амонізацією; електрохімічна дезодорація. Сорбційні методи дезодорації води. Використання активованого вугілля: вуглювання, використання гранульованого вугілля. Методи регенерації активованого вугілля. Окисно-сорбційний метод дезодорації води.

3. Видалення з води отрутохімікатів.

Застосування окислювальних, адсорбційних, фізико-хімічних і біологічних методів для видалення з води отрутохімікатів.

ТЕМА 4. Фторування води

1. Умови, що визначають необхідність фторування або дефторування води.

Необхідність фторування і дефторування води. Класифікація проф. Р.Д.Габовича якості питної води за вмістом в ній фторід-іонів.

2. Технологія фторування води. Вживані реагенти.

Реагенти, вживані для фторування води, їхні властивості. Визначення дози фторвміщуючого реагенту. Вибір місця вводу реагента в оброблювану воду при фторуванні води.

3. Фтораторні установки.

Дозування реагентів. Дозуючі пристрої. Фторувальні установки: сатураторного типу, з розчинними баками, із затворно-розчинними баками, із використанням кремнефтористоводневої кислоти, сухого дозування.

ТЕМА 5. Дефторування води

1. Класифікація методів дефторування води і їх санітарно-гігієнічна оцінка.

Основи дефторування води. Сутність методів, застосовуваних для видалення з води надлишкового фтору.

2. Сорбційні методи дефторування води.

Технологічна схема з використанням гідроксиду магнію. Технологічна схема з використанням гідроксиду алюмінію. Технологічна схема з використанням фосфату кальцію.

3. Іонообмінні методи дефторування води.

Застосування активованого оксиду алюмінію, іонообмінних матеріалів, різних сорбентів.

ЗМ 1.2. ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ. ОПРІСНЕННЯ І ЗНЕСОЛЕННЯ

ТЕМА 1. Знезалізнення води

1. Основи процесу знезалізнення води.

Форми присутності сполук заліза у природних водах. Діаграми Пурбе. Загальна характеристика методів знезалізнення води поверхневих та підземних джерел.

2. Безреагентні методи знезалізнення води.

Спрощена аерація, глибока аерація, «суха» фільтрація, використання каркасних фільтрів, напірна флотація, фільтрування в підземних умовах, аерація та двоступеневе фільтрування, електрокоагуляція.

3. Реагентні методи знезалізнення води.

Процеси, які відбуваються при реагентному знезалізненні води. Застосовувані реагенти. Технологічні схеми реагентного знезалізнення води: спрощена аерація, окислювання, фільтрування; напірна флотація з вапнуванням і фільтруванням; вапнування, відстоювання і фільтрування; фільтрування через модифіковане завантаження; озонування і фільтрування; комбіновані методи.

4. Видалення з води марганцю.

Методи деманганації води. Застосування перманганату калію; аерація з підлужуванням; коагуляція з підлужуванням; фільтрування аерованої води через контактний фільтр; озонування; використання хлору; іонний обмін; біохімічні методи.

ТЕМА 2. Опріснення і знесолення води

1. Характеристика методів знесолення і опріснення води.

Методи опріснення і знесолення води: сутність, галузь застосування.

2. Знесолення води із зміною її агрегатного стану: дистиляція, геліоопріснення, виморожування, газгідратний метод.

Опріснення води дистиляцією. Характеристика дистиляційних методів. Принципові схеми одно- та багатокорпусного випарників. Дистиляційна установка з термокомпресором. Установки миттєвого випаровування. Геліоопріснення. Використання гідрофобних теплоносіїв. Опріснення води виморожуванням. Застосування природного холоду та штучно створених умов. Використання холодильних установок, виморожування у вакуумі, холодоагентів. Газгідратний метод опріснення води.

3. Методи запобігання утворенню накипу на поверхні нагрівання теплообмінної апаратури.

Методи запобігання утворення шумовиння на поверхні нагрівання теплообмінної апаратури опріснювальних установок: реагентні та безреагентні методи.

4. Знесолення води без зміни її агрегатного стану: екстракція, електродіаліз, зворотний осмос.

Опріснення води екстракцією. Фізикохімія екстракційних процесів водопідготовки. Методи екстракції. Технологія екстракційних процесів. Застосування електродіалізу для опріснення води. Галузі застосування процесу електродіалізу. Інообмінні мембрани та їх фізико-хімічні властивості. Схема

електродіалізного апарату. Схеми електродіалізних установок. Сутність процесу знесолення води зворотним осмосом. Характеристика зворотньоосмотичних мембран. Вплив технологічних параметрів на мембранні процеси. Технологічне оформлення знесолення води зворотним осмосом: схеми апаратів з використанням листових, трубчастих мембран та мембран у вигляді порожнистого волокна. Зворотньоосмотичні установки. Ультрафільтрування. Нанофільтрування.

ЗМ 1.3. ДЕГАЗАЦІЯ. ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ОБРОБКА. СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ

ТЕМА 1. Дегазація води

1. Основи процесів дегазації води.

Розчинність газів у воді. Коефіцієнт розчинності газів. Суть фізичних й хімічних методів видалення з води розчинених газів.

2. Фізичні методи дегазації води.

Фізична дегазація води. Схема плівкового дегазатору. Апарати барботувального типу. Термічні дегазатори. Вакуумні дегазатори.

3. Хімічні методи дегазації води.

Реагенти, застосовувані для хімічної дегазації води. Використання модифікованого завантаження. Застосування електролізерів.

ТЕМА 2. Електрохімічна обробка води

1. Основи електрохімічного очищення води. Електродні реакції, що протікають при електрохімічному очищенні води.

Механізм проходження струму через розчини електролітів. Електродні реакції, що протікають при електрохімічному очищенні води: реакції катодного відновлення; реакції анодного окислення; процеси, що протікають в об'ємі електроліту.

2. Класифікація методів електрохімічного очищення води.

Методи перетворення. Методи розділення. Комбіновані методи.

3. Апаратурне оформлення деяких процесів електрохімічного очищення води.

Апаратурне оформлення електрохімічного очищення води. Електрокоагуляція. Електрохімічна деструкція. Електрофлотація. Електродіаліз. Електрофлотокоагуляція.

ТЕМА 3. Радіаційне очищення води

1. Основи методу радіаційного очищення води.

Іонізуючі випромінювання і їх дія на забруднену воду. Можливі напрями використання радіаційної обробки води. Особливості радіаційної технології очищення води. Економічні і технологічні характеристики процесу.

2. Апаратурне оформлення радіаційного очищення води.

Апаратурне оформлення методу. Гамма-установки для очищення стічних вод. Радіаційні установки з прискорювачами електронів для очищення стічних вод.

Установки з радіаційними контурами ядерних реакторів для очищення стічних вод.

ТЕМА 4. Очищення води від радіоактивних елементів

1. Радіаційне забруднення води.

Радіоактивні речовини природного і штучного походження.

2. Методи очищення води від радіоактивних елементів.

Застосування відстоювання для видалення радіоактивних речовин. Застосування фізико-хімічних методів (дистиляція, осадження, коагулювання, флотація, фільтрування, сорбція, іонний обмін). Застосування електролітичних методів (електроліз, електродіаліз). Застосування біологічних методів. Комбіновані методи.

2. ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практичне заняття № 1

Реагентне зм'якшення води

1. Визначення доз реагентів та технологічне оформлення реагентного зм'якшення води.

2. Регенерація вапна з осаду водозм'якшувальних установок.

1. Визначення доз реагентів та технологічне оформлення реагентного зм'якшення води.

Кількість води, що підлягає зм'якшуванню, у відсотках загальної кількості води слід визначати за формулою

$$q_{\text{зм}} = \frac{100 \cdot (J_{\text{заг.вих.}} - J_{\text{заг.мер.}})}{(J_{\text{заг.вих.}} - J_{\text{зм}})}, \%, \quad (2.1)$$

де $J_{\text{заг.вих.}}$ - загальна жорсткість вихідної води, мг-екв/дм³;

$J_{\text{заг.мер.}}$ - загальна жорсткість води, що подається в мережу, мг-екв/дм³;

$J_{\text{зм}}$ - жорсткість зм'якшеної води, мг-екв/дм³.

У складі установок для реагентної декарбонізації води і вапняно-содового зм'якшування слід передбачати: реагентне господарство, змішувачі, освітлювачі із завислим осадом, фільтри і пристрої для стабілізаційної обробки води

В окремих випадках замість освітлювачів із завислим осадом застосовують вихрові реактори.

При декарбонізації залишкова жорсткість зм'якшеної води може бути отримана на 0,4-0,8 мг-екв/дм³ більше некарбонатної жорсткості, а лужність 0,8-1,2 мг-екв/дм³; при вапняно-содовому зм'якшуванні – залишкова жорсткість 0,5-1 мг-екв/дм³ і лужність 0,8-1,2 мг-екв/дм³. Нижні межі можуть бути отримані при підігріві води до 35-40°C.

При декарбонізації і вапняно-содовому зм'якшуванні води вапно належить застосовувати у вигляді вапняного молока. При добовій витраті вапна

менше 0,25 т (з розрахунку на СаО) вапно допускається вводити в зм'якшувану воду у вигляді насиченого вапняного розчину, який отримують в сатураторах.

Дози вапна для декарбонізації води із розрахунку на СаО належить визначати за такими формулами:

а) при співвідношенні між концентрацією у воді кальцію і карбонатною жорсткістю $(\text{Ca}^{2+})/20 > \text{Ж}_\text{к}$

$$D_\text{в} = 28 \cdot \left[\frac{(\text{CO})_2}{22} + \text{Ж}_\text{к} + \frac{D_\text{к}}{e_\text{к}} + 0,3 \right], \text{ мг/дм}^3; \quad (2.2)$$

б) при співвідношенні між концентрацією у воді кальцію і карбонатною жорсткістю $(\text{Ca}^{2+})/20 < \text{Ж}_\text{к}$

$$D_\text{в} = 28 \cdot \left[\frac{(\text{CO}_2)}{22} + 2 \cdot \text{Ж}_\text{к} - \frac{(\text{Ca}^{2+})}{20} + \frac{D_\text{к}}{e_\text{к}} + 0,5 \right], \text{ мг/дм}^3, \quad (2.3)$$

де $(\text{CO})_2$ - концентрація у воді вільного двоокису вуглецю, мг/дм³;

(Ca^{2+}) - вміст у воді кальцію, мг/дм³;

$D_\text{к}$ - доза коагулянта FeCl_3 або FeSO_4 (з розрахунку на безводні продукти), мг/дм³;

$e_\text{к}$ - еквівалентна маса активної речовини коагулянту, мг/мг-екв (для FeCl_3 - 54, для FeSO_4 - 76).

Дози вапна і соди при вапняно-содовому зм'якшуванні води слід визначати за такими формулами:

♦ доза вапна з розрахунку на СаО

$$D_\text{в} = 28 \cdot \left[\frac{(\text{CO}_2)}{22} + \text{Ж}_\text{к} + \frac{(\text{Mg}^{2+})}{12} + \frac{D_\text{к}}{e_\text{к}} + 0,5 \right], \text{ мг/дм}^3; \quad (2.4)$$

♦ доза соди з розрахунку на Na_2CO_3

$$D_\text{с} = 53 \cdot \left(\text{Ж}_\text{нк} + \frac{D_\text{к}}{e_\text{к}} + 1 \right), \text{ мг/дм}^3, \quad (2.5)$$

де (Mg^{2+}) - вміст у воді магнію, мг/дм³;

$\text{Ж}_\text{нк}$ - некарбонатна жорсткість води, мг-екв/дм³.

Як коагулянти при зм'якшуванні води вапном або вапном і содою слід застосовувати хлорне залізо або залізний купорос.

Дози коагулянту з розрахунку на безводні продукти FeCl_3 або FeSO_4 належить приймати 25-35 мг/л з подальшим уточненням в процесі експлуатації водозм'якшувальної установки.

При обґрунтуванні допускається проводити декарбонізацію або вапняно-содове зм'якшування води у вихрових реакторах з отриманням крупки карбонату кальцію і її випаленням з метою утилізації як вапно-реагент.

Зм'якшування води у вихрових реакторах слід приймати при співвідношенні $(\text{Ca}^{2+}) / 20 \text{ мг/дм}^3 > \text{Ж}_\text{к}$ та вмісті магнію у вихідній воді не більше 15 мг/дм^3 і перманганатній окислюваності не більше $10 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$.

Остаточне освітлення води після вихрових реакторів слід проводити на фільтрах.

Для розрахунку вихрових реакторів слід приймати: швидкість входу в реактор $0,8-1 \text{ м/с}$; кут конусності $15-20^\circ$; швидкість висхідного руху води на рівні водовідвідних пристроїв $4-6 \text{ мм/с}$. Як контактну масу для завантаження вихрових реакторів слід застосовувати мелений вапняк, розмолоту крупу карбонату кальцію, що утворилася у вихрових реакторах, або мармурову крихту.

Крупність зерен контактної маси має бути $0,2-0,3 \text{ мм}$, кількість її - 10 кг на 1 м^3 об'єму вихрового реактора. Контактну масу належить довантажувати при кожному випуску крупы з вихрового реактора.

Вапно слід вводити в нижню частину реактора у вигляді вапняного розчину або молока. При обробці води у вихрових реакторах коагулянт додавати не слід.

При $(\text{Ca}^{2+}) / 20 < \text{Ж}_\text{к}$ декарбонізацію води слід проводити в освітлювачах з доосвітленням води на фільтрах.

Для виділення суспензії, що утворюється при зм'якшенні води вапном, а також вапном і содою, слід застосовувати освітлювачі із завислим осадом (спеціальної конструкції).

Швидкість руху води в шарі завислого осаду слід приймати $1,3-1,6 \text{ мм/с}$, вода після освітлювача повинна містити завислих речовин не більше 15 мг/дм^3 .

Фільтри для освітлення води, що пройшла через вихрові реактори або освітлювачі, слід завантажувати піском або роздробленим антрацитом з крупністю зерен $0,5-1,25 \text{ мм}$ і коефіцієнтом неоднорідності $2-2,2$. Висота шаруючи завантаження $0,8-1 \text{ м}$, швидкість фільтрування - до 6 м/год .

Допускається застосування двошарових фільтрів.

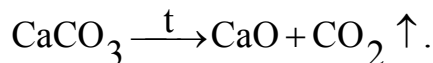
Фільтри належить обладнати пристроями для верхньої промивки.

2. Регенерація вапна з осаду водозм'якшувальних установок.

Осад водозм'якшувальних установок при вапняному і вапняно-содовому методі зм'якшення складається в основному з CaCO_3 і Mg(OH)_2 . Кількість перехідного в осад CaCO_3 за еквівалентними співвідношеннями приблизно в $3,5$ рази більше вживаного для обробки води CaO . Фактично у зв'язку з винесенням частини осаду з водою і втратами при транспортуванні можна розраховувати на отримання в осаді CaO приблизно в $1,5$ рази більше кількості, витраченого для обробки води. За наявності кальцієвої некарбонатної жорсткості ця кількість збільшується за рахунок CaCO_3 , що осаджується содою.

Таким чином, при **регенерації CaO з осаду водозм'якшувальних установок** одержувана кількість не тільки могла б забезпечити власні потреби установок, але і використання частини продукту в інших цілях.

Найдоцільніше одержувати CaO із зернистого осаду вихрових реакторів. Цей осад є майже чистим CaO. При випуску з вихрових реакторів він має вологість близько 50% і легко віддає частину води при підсушуванні на повітрі, після чого його можна піддавати випаленню при 1100°C для отримання CaO



Mg(OH)₂, що міститься в осаді, при випаленні переходить в MgO. При великій кількості магнію з часом регенований осад все більше буде їм забруднюватися з одночасним зниженням вмісту кальцію. У цьому випадку до регенованого осаду необхідне додавання свіжого вапна для підтримки необхідної активності реагенту.

Процес регенерації може протікати за наступною схемою (рис. 2.1). Вологість осаду знижується до 35%, після чого відбувається його випалення в роторній печі, що обертається із швидкістю 1 об./хв. і має ухил $i=0,04$ для полегшення переміщення підсушеного осаду у напрямі входу в піч гріючої пари. Осад, що виходить, охолоджується в повітряній сорочці і прямує в бункер. В установці передбачені пристрої для знепилювання газів, що відходять.

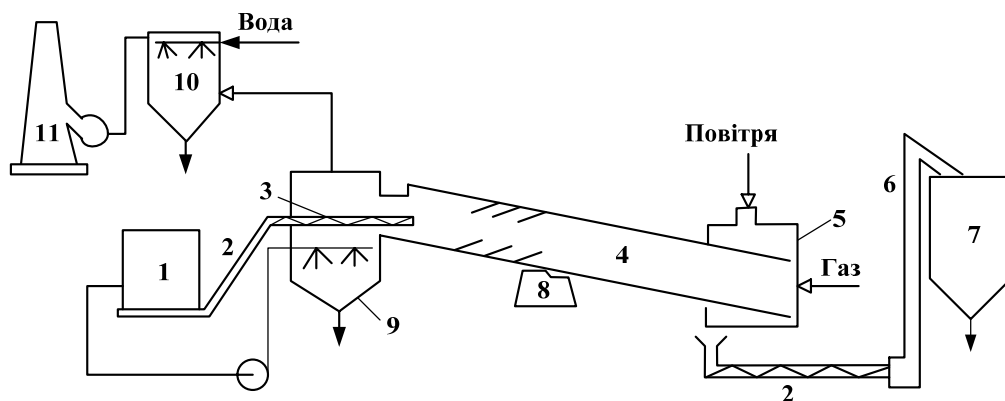


Рисунок 2.1 – Схема установки для регенерації осаду з відстійників або освітлювачів водозм'якшувальних установок:

- 1 – центрифуга; 2 – транспортер; 3 – шнековий живильник; 4 – роторна піч;
- 5 – охолоджувальна сорочка; 6 – елеватор; 7 – бункер для регенованого продукту;
- 8 – привід печі; 9 – скруббер 1 ступеня для знепилювання газів, що відходять;
- 10 – скруббер 2 ступеня; 11 – димар

Практичне заняття № 2

Зм'якшення води катіонуванням.

Натрій-катіонітний метод зм'якшування води слід застосовувати для зм'якшування підземних вод і вод поверхневих джерел з каламутністю не більше 8 мг/л і забарвленістю не більш 30°. При натрій-катіонуванні лужність води не змінюється.

При одноступінчатому натрій-катіонуванні загальна жорсткість води може бути знижена до 0,05-0,1 г-екв/м³, при двоступінчатому - до 0,01 г-екв/м³.

Об'єм катіоніту у фільтрах першого ступеня слід визначати за формулою

$$W_K = \frac{24 \cdot q_y \cdot J_{\text{заг.вих.}}}{n_p \cdot E_{\text{роб}}^{\text{Na}}}, \text{ м}^3, \quad (2.6)$$

де q_y - витрата зм'якшеної води, $\text{м}^3/\text{год.}$;

$J_{\text{заг.вих.}}$ - загальна жорсткість вихідної води, $\text{г-екв}/\text{м}^3$;

$E_{\text{роб}}^{\text{Na}}$ - робоча обмінна ємкість катіоніту при натрій-катіонуванні, $\text{г-екв}/\text{м}^3$;

n_p - кількість регенерацій кожного фільтру за добу, що приймається в межах від однієї до трьох.

Робочу обмінну ємкість катіоніту при натрій-катіонуванні слід визначати за формулою

$$E_{\text{роб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{повн}} - 0,5 \cdot q_{\text{пит}} \cdot J_{\text{заг.вих.}}, \text{ г-екв}/\text{дм}^3, \quad (2.7)$$

де α_{Na} - коефіцієнт ефективності регенерації натрій-катіоніту, що враховує неповноту регенерації катіоніту, приймається за табл. 2.1;

Таблиця 2.1

Питома витрата куховарської солі на регенерацію катіоніту, г на г-екв робочої обмінної ємкості	100	150	200	250	300
Коефіцієнт ефективності регенерації катіоніту α_{Na}	0,62	0,74	0,81	0,86	0,9

β_{Na} - коефіцієнт, що враховує зниження обмінної ємкості катіоніту по Ca^{2+} і Mg^{2+} унаслідок часткового затримання катіонів Na^+ , що приймається за табл. 2.2, в якій C_{Na} - концентрація натрію у вихідній воді, $\text{г-екв}/\text{м}^3$ ($C_{\text{Na}} = (\text{Na}^+)/23$);

Таблиця 2.2

$C_{\text{Na}} / J_{\text{заг.вих.}}$	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	5,0	10,0
β_{Na}	0,93	0,88	0,83	0,7	0,65	0,54	0,5

$E_{\text{повн}}$ - повна обмінна ємкість катіоніту, $\text{г-екв}/\text{м}^3$, визначувана за заводськими паспортними даними. За відсутності таких даних при розрахунках допускається приймати: для сульфовугля крупністю 0,5-1,1 мм - $500 \text{ г-екв}/\text{м}^3$; для катіоніту КУ-2 крупністю 0,8-1,2 мм - $1500-1700 \text{ г-екв}/\text{м}^3$;

$q_{\text{пит}}$ - питома витрата води на відмивання катіоніту, м^3 на 1 м^3 катіоніту, що приймається для сульфовугля - 4 і для КУ-2 - 6.

Площу катіонітних фільтрів першого ступеня слід визначати за формулою

$$F_K = \frac{W_K}{H_K}, \text{ м}^2, \quad (2.8)$$

де H_K - висота шару катіоніту у фільтрі, що приймається від 2 до 2,5 м (більшу висоту завантаження слід приймати при жорсткості води більше 10 г-екв/м³).

Швидкість фільтрування води через катіоніт для напірних фільтрів першого ступеня при нормальному режимі не повинна перевищувати при загальній жорсткості води до 5 г-екв/м³ - 25 м/год.; 5-10 г-екв/м³ - 15 м/год.; 10-15 г-екв/м³ - 10 м/год.

Допускається короткочасне збільшення швидкості фільтрування на 10 м/год порівняно з вказаними вище при виключенні фільтрів на регенерацію або ремонт.

Втрату напору в напірних катіонітних фільтрах при фільтруванні слід визначати як суму втрат напору в комунікаціях фільтру, в дренажі та катіоніті. Втрату напору у фільтрі слід приймати по табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Висота шару, м, катіоніту крупністю 0,5-1,1 мм або 0,8-1,2 мм	Втрати напору, м, в напірному катіонітному фільтрі при швидкості фільтрування, м/год.				
	5	10	15	20	25
2	4	5	5,5	6	7
2,5	4,5	5,5	6	6,5	7,5

У відкритих катіонітних фільтрах шар води над катіонітом слід приймати 2,5-3 м і швидкість фільтрування не більше 15 м/год.

Інтенсивність подачі води для розпушування катіоніту слід приймати 4 л/(с·м²) при крупності зерен катіоніту 0,5-1,1 мм і 5 л/(с·м²) при крупності 0,8-1,2 мм. Тривалість розпушування належить приймати 20-30 хв.

Регенерацію завантаження катіонітних фільтрів слід передбачати технічною куховарською сіллю. Витрата куховарської солі на одну регенерацію натрій-катіонітного фільтру першого ступеня слід визначати за формулою

$$P_C = \frac{f_K \cdot H_K \cdot E_{\text{роб}}^{\text{Na}} \cdot a_C}{1000}, \text{ кг}, \quad (2.9)$$

де f_K - площа одного фільтру, м²;

a_C - питома витрата солі на 1 г-екв робочої обмінної ємкості катіоніту, що приймається 120-150 г/г-екв для фільтрів першого ступеня при двоступінчатій схемі і 150-200 г/г-екв при одноступінчатій схемі. Жорсткість зм'якшеної води при різних питомих витратах солі приведена на рис. 2.2.

Концентрацію регенераційного розчину для фільтрів першого ступеня слід приймати 5-8%.

Швидкість фільтрування регенераційного розчину через катіоніт фільтрів першого ступеня слід приймати 3-4 м/год.; швидкість фільтрування вихідної води для відмивання катіоніту – 6-8 м/год., питома витрата води для відмивання – 5-6 м³ на 1 м³ катіоніту.

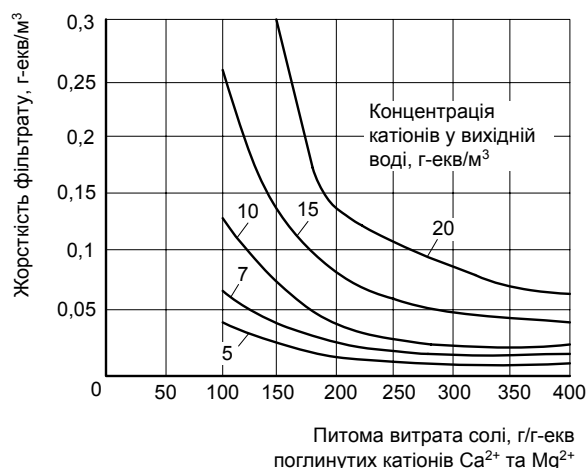


Рисунок 2.2 – Графік для визначення залишкової жорсткості води, зм'якшеної одноступінчатим натрій-катіонуванням

Для натрій-катіонітних фільтрів другого ступеня слід приймати: висоту шару катіоніту - 1,5 м; швидкість фільтрування - не більше 40 м/год.; питома витрата солі для регенерації катіоніту у фільтрах другого ступеня 300-400 г на 1 г-екв затриманих катіонів жорсткості; концентрацію регенераційного розчину – 8-12%.

Втрату напору у фільтрі другого ступеня слід приймати 13-15 м.

Відмивання катіоніту у фільтрах другого ступеня належить передбачати фільтратом першого ступеня.

При розрахунку фільтрів другого ступеня загальну жорсткість води, що поступає на них, слід приймати 0,1 г-екв/м³, робочу ємкість поглинання катіоніту – 250-300 г-екв/м³.

При обґрунтуванні для зм'якшення води підвищеної мінералізації допускається застосування схем протиточного або ступенево-протиточного натрій-катіонування.

Водород-натрій-катіонітний метод слід застосовувати для видалення з води катіонів жорсткості (кальцію і магнію) і одночасного зниження лужності води.

Цей метод слід застосовувати для обробки підземних вод і вод поверхневих джерел з каламутністю не більше 5-8 мг/л і забарвленістю не більше 30°.

Зм'якшування води належить приймати за схемами:

- паралельного водород-натрій-катіонування, що дозволяє отримати фільтрат загальною жорсткістю 0,1 г-екв/м³ із залишковою лужністю 0,4 г-екв/м³; при цьому сумарний вміст хлоридів і сульфатів у вихідній воді має бути не більше 4 г-екв/м³ і натрію не більше 2 г-екв/м³;

- послідовного водород-натрій-катіонування з «голодною» регенерацією водород-катіонітних фільтрів; при цьому загальна жорсткість фільтрату складе 0,01 г-екв/м³, лужність - 0,7 г-екв/м³;

- водород-катіонування з «голодною» регенерацією і подальшим фільтруванням через буферні катіонітні фільтри із саморегенерацією; при цьому загальна жорсткість фільтрату буде на 0,7-1,5 г-екв/м³ вище за

некарбонатну жорсткість вихідної води, лужність фільтрату - 0,7-1,5 г-екв/м³. Катіонітні буферні фільтри допускається не передбачати, якщо не вимагається підтримки залишкової жорсткості, лужності і рН у строго певних межах. Слід передбачати можливість регенерації буферних фільтрів розчином технічної куховарської солі.

Співвідношення витрат води, що подається на водород-катіонітні та натрій-катіонітні фільтри при зм'якшенні води паралельним водород-натрій-катіонуванням, слід визначати за такими формулами:

- витрата води, що подається на водород-катіонітні фільтри

$$q_{\text{кор}}^{\text{H}} = \frac{q_{\text{кор}} \cdot (L_0 - L_{\text{зм}})}{(A + L_0)}, \text{ м}^3/\text{год.}; \quad (2.10)$$

- витрата води, що подається на натрій-катіонітні фільтри

$$q_{\text{кор}}^{\text{Na}} = q_{\text{кор}} - q_{\text{повн}}^{\text{H}}, \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (2.11)$$

де $q_{\text{кор}}$ - корисна продуктивність водород-натрій-катіонітної установки, м³/год.;

$q_{\text{кор}}^{\text{H}}$ і $q_{\text{кор}}^{\text{Na}}$ - корисна продуктивність відповідно водород-катіонітних і натрій-катіонітних фільтрів, м³/год.;

L_0 - лужність вихідної води, г-екв/м³;

$L_{\text{зм}}$ - необхідна лужність зм'якшеної води, г-екв/м³;

A - сумарний вміст у зм'якшеній воді аніонів сильних кислот (сульфатів, хлоридів, нітратів та ін.), г-екв/м³.

Водород-катіонітні фільтри можуть бути використані і як натрій-катіонітні, тому має бути передбачена можливість регенерації двох-трьох водород-катіонітних фільтрів розчином технічної куховарської солі.

Розрахунок трубопроводів і фільтрів слід проводити на режимі при найбільшому навантаженні на водород-катіонітні фільтри, найбільшій лужності (L) води і найменшому вмісті в ній аніонів сильних кислот (A); при найбільшому навантаженні на натрій-катіонітні фільтри, найменшій лужності води і найбільшому вмісті в ній аніонів сильних кислот.

Об'єм катіоніту у водород-катіонітних фільтрах слід визначати за формулою

$$W_{\text{H}} = \frac{24 \cdot q_{\text{кор}}^{\text{H}} \cdot (L_0 + C_{\text{Na}})}{n_{\text{p}} \cdot E_{\text{роб}}^{\text{H}}}, \text{ м}^3. \quad (2.12)$$

Об'єм катіоніту в натрій-катіонітних фільтрах слід визначати за формулою

$$W_{\text{Na}} = \frac{24 \cdot q_{\text{кор}}^{\text{Na}} \cdot Ж_0}{n_{\text{p}} \cdot E_{\text{роб}}^{\text{Na}}}, \text{ м}^3. \quad (2.13)$$

де $Ж_0$ - загальна жорсткість зм'якшуваної води, г-екв/м³;

n_p - кількість регенерацій кожного фільтру в добу;

$E_{роб}^H$ - робоча обмінна ємкість водород-катіоніта, г-екв/м³;

$E_{роб}^{Na}$ - робоча обмінна ємкість натрій-катионіта, г-екв/м³;

C_{Na} - концентрація у воді натрію, г-екв/м³.

Робочу обмінну ємкість водород-катіоніту слід визначати за формулою

$$E_{роб}^H = \alpha_H \cdot E_{повн} - 0,5 \cdot q_{пит} \cdot C_K, \text{ г-екв/м}^3, \quad (2.14)$$

де α_H - коефіцієнт ефективності регенерації водород-катіоніту, що приймається по табл. 2.4;

C_K - загальний вміст у воді катіонів кальцію, магнію, натрію і калію, г-екв/м³;

$q_{пит}$ - питома витрата води на відмивання катіоніту після регенерації, що приймається рівним 4-5 м³ води на 1 м³ катіоніту;

$E_{повн}$ - паспортна повна обмінна ємкість катіоніту в нейтральному середовищі, г-екв/м³.

Таблиця 2.4

Питома витрата сірчаної кислоти на регенерацію катіоніту, г/г-екв, робочої обмінної ємкості	50	100	150	200
Коефіцієнт ефективності регенерації водород-катионіта α_H	0,68	0,85	0,91	0,92

Площу водород-катіонітних і натрій-катионітних фільтрів слід визначати за формулою

$$F_H = \frac{W_H}{H_K}, \text{ м}^2. \quad (2.15)$$

Кількість робочих водород-катионітних і натрій-катионітних фільтрів при цілодобовій роботі має бути не менше двох.

Кількість резервних водород-катионітних фільтрів належить приймати: один - при кількості робочих фільтрів до шести і два - при більшій кількості, Резервні натрій-катионітні фільтри встановлювати не слід, але має бути передбачена можливість використання резервних водород-катионітних фільтрів як натрій-катионітних.

Регенерацію водород-катионітних фільтрів належить приймати 1-1,5%-ним розчином сірчаної кислоти. Допускається розбавлення сірчаної кислоти до вказаної концентрації водою безпосередньо перед фільтрами в ежекторі.

Швидкість пропуску регенераційного розчину сірчаної кислоти через шар катіоніту має бути не менше 10 м/год. з подальшим відмиванням катіоніту

незм'якшеною водою, що пропускається через шар катіоніту зверху із швидкістю 10 м/год.

Відмивання повинне закінчуватися при кислотності фільтру, яка дорівнює сумі концентрацій сульфатів і хлоридів у воді, що поступає на відмивання.

Першу половину об'єму відмивної води слід направляти на нейтралізацію, в накопичувачі і тому подібне, другу половину - в баки для розпушування катіоніту.

Для регенерації водород-катіонітних фільтрів при обґрунтуванні допускається застосування кислот соляною і азотною (для КУ-2).

Витрата 100%-ної кислоти на одну регенерацію водород-катіонітного фільтру належить визначати за формулою

$$P_H = \frac{f_k \cdot N_k \cdot E_{\text{роб}}^H \cdot \alpha_H}{1000}, \text{ кг}, \quad (2.16)$$

де α_H - питома витрата кислоти для регенерації катіоніту, г/г-екв, визначується за рис. 2.3 залежно від необхідної жорсткості фільтрату.

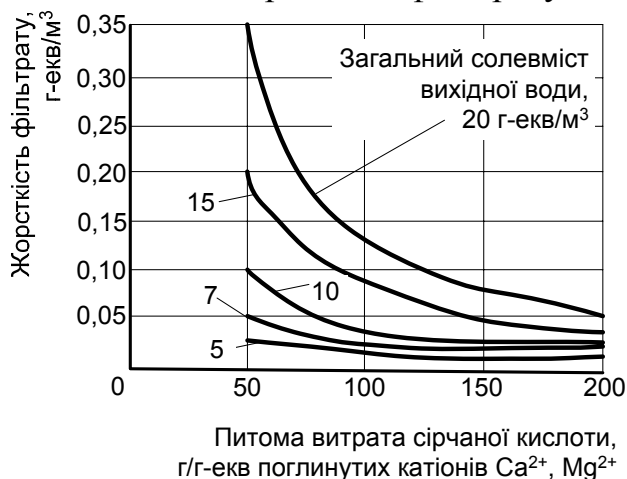


Рис. 2.3 - Графік для визначення загальної жорсткості води, зм'якшеної водород-катіонуванням

Об'єми мірника міцної кислоти і бака для розбавленого розчину кислоти (якщо розбавлення її проводиться не перед фільтрами) належить визначати за умови регенерації одного фільтру при кількості робочих водород-катіонітних фільтрів до чотирьох і для регенерації двох фільтрів при більшій кількості.

Апарати і трубопроводи для дозування і транспортування кислот слід проектувати з дотриманням правил техніки безпеки при роботі з кислотами.

Видалення двоокису вуглецю з водород-катіонованої води або з суміші водород- і натрій-катіонованої води належить передбачати в дегазаторах з насадками кислототривкими керамічними розміром 25x25x4 мм або з дерев'яною хордовою насадкою з брусків.

Площу поперечного перетину дегазатора слід визначати виходячи з щільності зрошування при керамічній насадці 60 м³/год. на 1 м² площі дегазатора, при дерев'яній хордовій насадці - 40 м³/год.

Вентилятор дегазатора повинен забезпечувати подачу 15 м^3 повітря на 1 м^3 води. Визначення натиску, що розвивається вентилятором, слід проводити з урахуванням опору керамічної насадки, що приймається рівним 30 мм вод. ст. на 1 м висоти шару насадки, опори дерев'яної хордової насадки - 10 мм вод. ст. Інші опори слід приймати рівними $30\text{-}40 \text{ мм вод. ст.}$

При проектуванні установок для зм'якшення води послідовним водород-натрій-катіонуванням з «голодною» регенерацією водород-катіонітних фільтрів слід приймати:

а) жорсткість фільтрату водород-катіонітних фільтрів за формулою

$$Ж_{\text{ф}}^{\text{H}} = (\text{Cl}^-) + (\text{SO}_4^{2-}) + L_{\text{зал}} - (\text{Na}^+), \text{ г-екв/м}^3, \quad (2.17)$$

де (Cl^-) і (SO_4^{2-}) - вміст хлоридів і сульфатів в зм'якшеній воді, г-екв/м^3 ;

$L_{\text{зал}}$ - залишкова лужність фільтрату водород-катіонітних фільтрів, дорівнює $0,7\text{-}1,5 \text{ г-екв/м}^3$;

(Na^+) - вміст натрію в зм'якшеній воді, г-екв/м^3 ;

б) витрата кислоти на «голодну» регенерацію водород-катіонітних фільтрів - 50 г на 1 г-екв видаленої з води карбонатної жорсткості;

в) при «голодній» регенерації «умовну» обмінну ємкість катіонітів за іоном HCO_3^- (до моменту підвищення лужності фільтрату) для сульфовугля СК-1 - $250\text{-}300 \text{ г-екв/м}^3$, для катіоніту КБ-4 - $500\text{-}600 \text{ г-екв/м}^3$.

Для попередження попадання кислої води на натрій-катіонітні фільтри установок послідовного водород-натрій-катіонування, на випадок регенерації водород-катіонітних фільтрів надлишковою дозою кислоти, слід передбачати подачу освітленої незм'якшеної води в потік фільтрату водород-катіонітних фільтрів перед дегазатором.

Апарати, трубопроводи і арматура, дотичні з кислою водою або фільтратом, мають бути захищені від корозії або виготовлені з антикорозійних матеріалів.

При паралельному водород-натрій-катіонуванні іонітні фільтри допускається при обґрунтуванні передбачати з протиточною регенерацією або за схемою ступенево-протиточного іонування.

Відпрацьовані регенераційні розчини іонітних зм'якшувальних установок залежно від місцевих умов слід направляти в накопичувачі, побутову або виробничу каналізацію; належить також розглядати можливість обробки концентрованої частини цих вод для їх повторного використання.

Відпрацьовані розчини перед скиданням в каналізацію після усереднювання належить при необхідності нейтралізувати. При цьому осаді карбонату кальцію і двоокису магнію, що виходять, слід виділяти відстоюванням і направляти в накопичувач.

Освітлені розчини хлориду натрію (із стічних вод від регенерації натрій-катіонітних фільтрів) належить повторно використовувати для регенерації натрій-катіонітних фільтрів (при необхідності після нейтралізації).

Практичне заняття № 3

Газгідратний метод опріснення води.

Газогідратний метод опріснення відноситься до методів з використанням штучного холоду і за апаратурним оформленням подібний виморожуванню з вторинним холодоагентом. Процес полягає в отриманні кристалів контактом солоної води з гідратоутворювальною речовиною, подальшою сепарацією їх від розсолу і плавленням. Для його здійснення установка повинна включати такі основні апарати: реактор-кристалізатор, сепаратор кристалів, конденсатор-плавитель і дегазатори прісної води і розсолу.

Найбільш перспективними для опріснення гідратоутворювачами є пропан, хлор, фреон-40, етилен, фреон-31, циклопропан та ін.

Володіючи всіма достоїнствами прямоконтактного виморожування, газогідратний метод вигідно відрізняється від нього вищою температурою проведення процесу, чим дозволяє скоротити втрати холоду в навколишнє середовище. При використанні газогідратного методу ліквідується один з основних недоліків опріснення виморожуванням - небезпека замерзання промислової води в шарі кристалів льоду.

При певних температурах і тиску в результаті контакту перерахованих газів з водою утворюються тверді кристалогідрати, які можна описати формулою загального виду $mMnH_2O$, де M - молекула гідратоутворювального газу; m - кількість молекул газу; n - кількість молекул води.

Газгидрати є льдоподібні кристали, що складаються з молекул води і неполярних молекул газів. На кожен молекулу гідратоутворювального газу доводиться від 7 до 18 молекул води. Різні гідратоутворювальні агенти відрізняються за своїми властивостями і вартістю. При порівняно низькій температурі гідратоутворення пропан володіє здатністю приєднувати найбільше число молекул води, є відносно недорогим і доступним для широкого використання.

Технологічна схема опріснювальної кристалогідратної установки складається з чотирьох процесів, які протікають в наступній послідовності: кристалізація, сепарація, очищення і плавлення (рис. 2.4). Утворення кристалогідратів відбувається при змішенні рідкого газу з водою. При цьому частина газу випаровується, охолоджуючи воду, а інша частина, з'єднуючись з нею, утворює кристалогідрати. Процес здійснюється у спеціальному реакторі-кристалізаторі, в який знизу подається газ, а зверху - солоня вода. Для інтенсифікації гідратоутворення застосовуються мішалки, що перемішують суміш.

Сепарацію кристалогідратів від суспензії здійснюють різними методами. Для цих цілей можуть бути застосовані: фільтрування, центрифугування, пресування і, нарешті, відділення кристалогідратів від розсолу під дією гравітаційних сил.

Затримані кристалогідрати промиваються прісною водою, а потім під дією тепла плавляться, утворюючи газ і прісну воду.

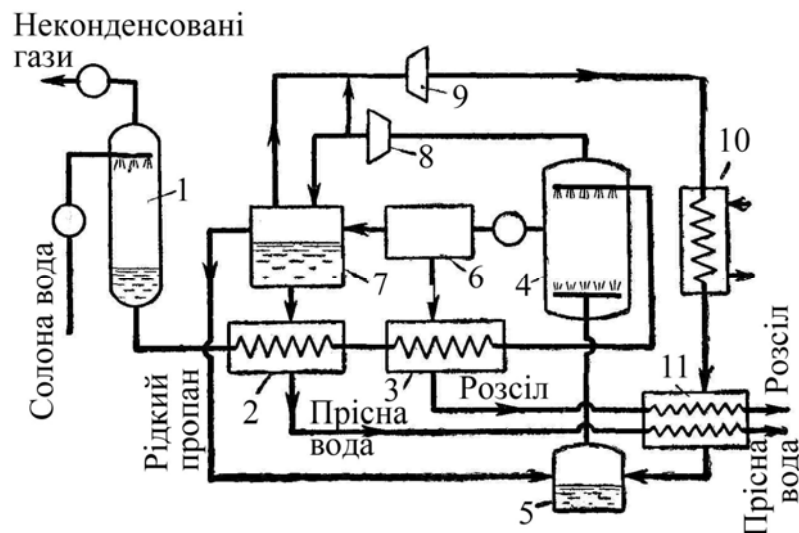


Рис. 2.4 – Схема газгидратного процесу опріснення води:

- 1 – деаератор; 2, 3, 11 – теплообмінники;
 4 – реактор; 5 – ресивер; 6 – колона сепарації; 7 – плавильник; 8 – компресор;
 9 – компресор високого тиску;
 10 – конденсатор

Практичне заняття № 4

Установки мембранного очищення води

Сучасні мембранні технології, вживані для водопостачання та водовідведення, розділяють на мікрофільтрацію, ультрафільтрацію, нанофільтрацію, зворотний осмос (гіперфільтрацію) та діаліз.

Таблиця 2.5 - Ефективність мембранних методів

	<i>Мікро- фільтрація</i>	<i>Ультра- фільтрація</i>	<i>Нано- фільтрація</i>	<i>Зворотний осмос</i>
<i>Домішки</i>	Зоопланктон Водорості Бактерії Частинки завис- лих речовин	Макромоле- кули Віруси Колоїди	Органічні сполуки Двовалентні іони	Одновалентні іони
<i>Необхід- ний тиск</i>	0,2-5,0 бар	1-10 бар	5-10 бар	10-150 бар

Суть всіх мембранних методів полягає у фільтруванні оброблюваної води під певним тиском через фільтруючі елементи, які мають різний ступінь затримання забруднень.

Напівпроникні мембрани, за допомогою яких відбувається процес розділення водних розчинів, є основною частиною будь-якого мікрофільтраційного, ультрафільтраційного, нанофільтраційного або зворотньоосмотичного апарату і значною мірою визначають не тільки технологічні показники процесу, але і технічні й експлуатаційні характеристики

апаратів. Існує велика кількість різноманітних мембран, але тільки деякі з них знаходять широке застосування в промисловості та сільському господарстві.

Мембрани повинні задовольняти наступним основним вимогам:

- мати високу водопроникність, тобто малий гідродинамічний опір;
- забезпечувати необхідну ефективність розділення;
- мати великий термін служби при збереженні заданого рівня

властивостей;

- характеризуватися хімічною і термічною стійкістю;

- володіти механічною міцністю;

- забезпечувати високу технологічність процесу: просту заміну і герметизацію мембран.

Розвиток і вдосконалення мембран йде в наступних напрямках:

1) створення механічно-, хімічно- і температурно-стійких мембран (нові полімерні матеріали, матеріали на основі целюлози, кераміка, срібло, композитні матеріали);

2) створення мембран низького ступеня забруднення;

3) створення широкого спектру мембран, призначених для роботи в умовах низького середнього і високого тиску;

4) підвищення терміну служби мембран до 7 і більше років;

5) зниження вартісних показників мембран.

Напівпроникні мембрани виготовляють з різних полімерних матеріалів, пористого скла, графіту, металевої фольги. Від матеріалу мембрани залежать її властивості (хімічна стійкість, міцність), а також в значній мірі її структура.

Пористі мембрани підрозділяють на мембрани з *еластичною структурою*, *жорсткою структурою* і *комбіновані*. До мембран з еластичною структурою відносять, наприклад, полімерні мембрани з анізотропною та ізотропною будовою, що піддаються ущільненню під впливом тиску. До мембран з жорсткою структурою відносять металеві, скляні й графітові мікропористі мембрани. Комбіновані мембрани поєднують в собі жорсткоструктурну основу з нанесеним на неї напівпроникним шаром. До цієї групи відносять складні мембрани, що утворюються при накладенні один на одного двох різних напівпроникних плівок.

За формою мембрани діляться на *листові*, *трубчасті*, і виконані у вигляді *порожнистого волокна*. Листові мембрани виготовляють у вигляді стрічки. Трубчасті мембрани бувають двох видів: з розташуванням активного напівпроникного шару на зовнішній або на внутрішній поверхні мембранної трубки.

Практичне заняття № 5

Апаратурне оформлення електрохімічного очищення води

Відповідна конфігурація і конструкція електродів, камери електролізу, а також інші технологічні і конструктивні особливості апаратів для електрохімічного очищення води приймають залежно від необхідного електролітичного ефекту (рис. 2.5).

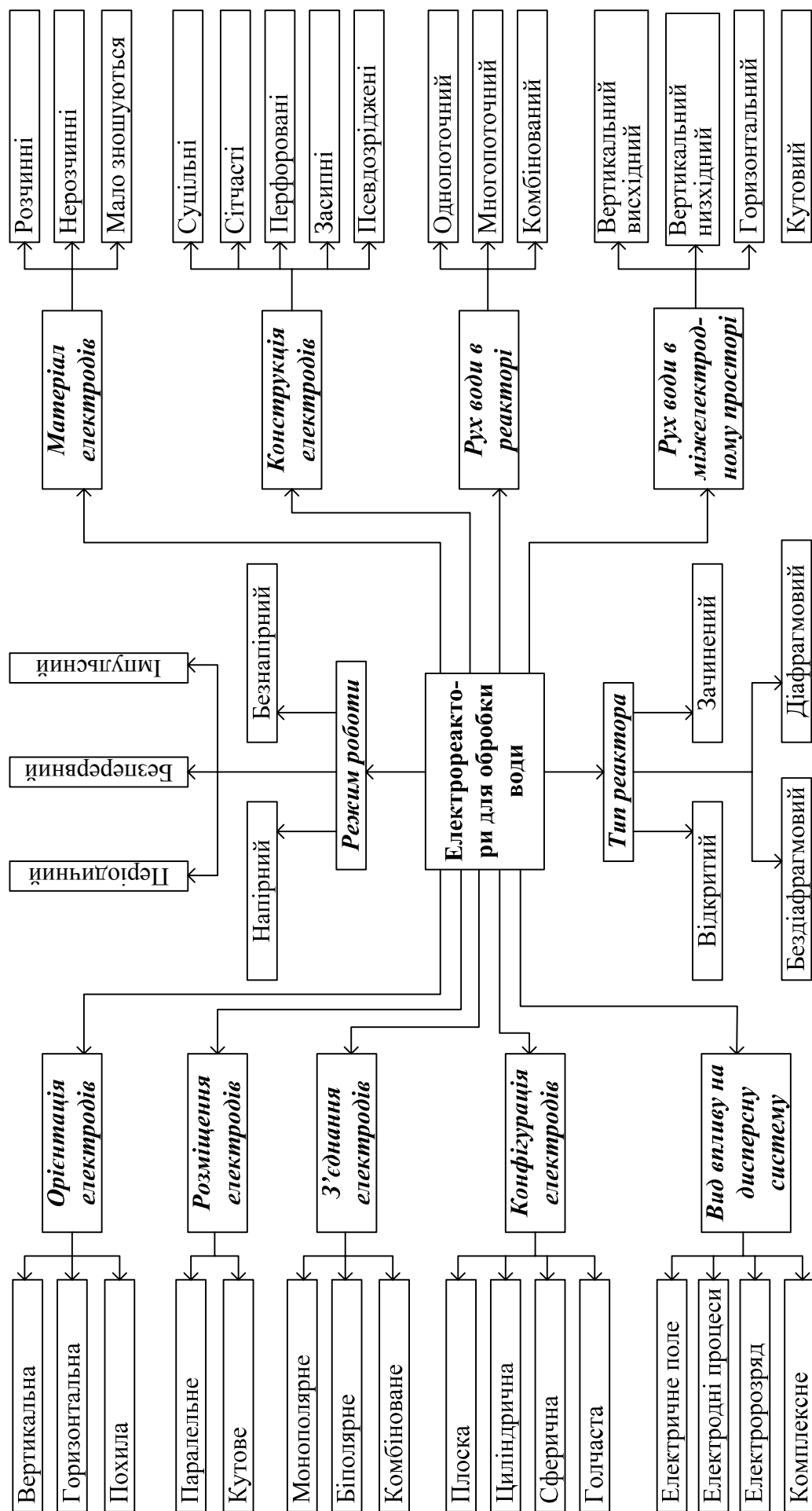


Рис. 2.5

Практичне заняття № 6

Радіаційне забруднення води

Потрапляючи в природні води радіоактивні речовини бувають *природного і штучного походження*. Наявність у воді *природних* радіоактивних речовин обумовлено її зіткненням з мінералами, що містять радіоактивні ізотопи ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , а також взаємодією з атмосферою, з якої у воду потрапляють продукти «космічного синтезу» елементів (^{14}C , ^7Be , ^3H). Ступінь радіоактивного забруднення води в цьому випадку звичайно невеликий. Розвиток ядерної енергетики і розширення області застосування радіоактивних ізотопів в різних галузях промисловості, науки, техніки, медицини пов'язаний з вірогідністю забруднення природних вод радіоактивними відходами. Найбільш небезпечними для людини і тварин є ізотопи: стронцій-90, цезій-137, йод-131. Потрапляючи в організм, вони викликають важкі захворювання. Активність радіоактивних відходів зменшується тільки в результаті природного розпаду, що у разі ізотопів, що володіють тривалим періодом напіврозпаду, пов'язано з необхідністю здійснення контролю над радіоактивними відходами іноді протягом декількох сотень років. Радіоактивно забруднені води відрізняються великою різноманітністю радіоактивних елементів, що містяться в них. Кожний з цих елементів характеризується двома основними величинами: енергією радіоактивного випромінювання α , β , γ -променів і періодом напіврозпаду, тобто проміжком часу, протягом якого розпадається половина початкової кількості атомів. Гранично допустимі концентрації деяких ізотопів у воді відкритих водоймищ показані в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Ізотоп	ГДК, кюрі/дм ³	Ізотоп	ГДК, кюрі/дм ³
Na^{24}	$8 \cdot 10^{-9}$	$\text{Ag}^{105}, \text{Nb}^{95}$	$3 \cdot 10^{-8}$
P^{32}	$5 \cdot 10^{-9}$	$\text{Ce}^{144}, \text{Ca}^{45}, \text{Sr}^{89}, \text{Ru}^{105}$	$3 \cdot 10^{-9}$
$\text{Ba}^{140}, \text{Cl}^{36}$	$7 \cdot 10^{-9}$	I^{131}	$6 \cdot 10^{-10}$
K^{42}	$6 \cdot 10^{-9}$	Cs^{137}	$1 \cdot 10^{-9}$
Cr^{51}	$5 \cdot 10^{-7}$	Hg^{197}	$9 \cdot 10^{-8}$
Mn^{52}	$9 \cdot 10^{-9}$	Pb^{210}	$1 \cdot 10^{-11}$
$\text{Au}^{198}, \text{Pr}^{143}, \text{Cd}^{115}, \text{Fe}^{59}$	$1 \cdot 10^{-8}$	Po^{210}	$2 \cdot 10^{-11}$
$\text{Co}^{60}, \text{Mo}^{99}, \text{Pm}^{147}, \text{Cu}^{64}$	$6 \cdot 10^{-8}$	Ra^{223}	$2 \cdot 10^{-10}$
$\text{U}^{235}, \text{Sr}^{90}$	$3 \cdot 10^{-8}$	Pu^{239}	$5 \cdot 10^{-11}$
$\text{Nd}^{147}, \text{Sr}^{95}$	$2 \cdot 10^{-8}$	U^{238}	0,05 мг/л

Способи дезактивації води підрозділяють на:

- *фізико-хімічні* (дистиляція, осадження, коагуляція, флотація, фільтрування, сорбція, іонообмін, екстрагування, випаровування);
- *електролітичні* (електроліз, електродіаліз, електроіонізація);
- *біологічні*;
- *поєднання перерахованих способів*.

3. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ

3.1 Загальні положення

Зм'якшенням води називається процес видалення з неї катіонів жорсткості, тобто Ca^{2+} і Mg^{2+} .

Відповідно до [1] жорсткість води, призначеної для господарсько-побутових потреб, не повинна перевищувати 7 ммоль/дм³. За узгодженням з органами СЕС ця норма може бути збільшена до 10 ммоль/дм³.

У більшості випадків використовувані водні джерела мають жорсткість, що відповідає нормам господарсько-побутових вод, і зм'якшення не потребують. Зм'якшення води здійснюється в основному при її підготовці для технічних цілей. Так, до води, використовуваної для харчування парових котлів, ставляться підвищені вимоги: вона повинна бути звільнена від завислих речовин, розчиненого кисню і солей жорсткості.

У даний час вироблення електроенергії в основному здійснюється на електростанціях з паротурбінними установками, що працюють на органічному паливі. Робочим середовищем на установках теплових електростанцій є вода.

В атомній енергетиці також застосовують майже винятково паротурбінні агрегати, що працюють на водяній парі.

Вода на електростанціях використовується для заповнення контуру паротурбінної установки і компенсації втрат пари і конденсату під час роботи, підживлення теплових мереж, а також для відводу теплоти в конденсаторах турбін і допоміжних теплообмінників. У всіх випадках застосовувана сира вода проходить відповідну обробку, але найбільш високі вимоги ставлять до якості води, що служить для заповнення контуру паротурбінної установки і підживлення його в процесі експлуатації.

Водно-хімічний режим роботи котельної повинен забезпечувати роботу котлів, пароводяного тракту, тепловикористовуючого устаткування та теплових мереж без корозійних пошкоджень і відкладень накипу й шламу на внутрішніх поверхнях, отримання пари та води необхідної якості.

Для зм'якшення води застосовують такі **методи**:

- ◆ **термічні**, засновані на нагріванні води, її дистиляції чи виморожуванні;
- ◆ **реагентні**, при яких іони Ca^{2+} і Mg^{2+} , що знаходяться у воді, зв'язують різними реагентами в практично нерозчинні сполуки;
- ◆ **іонного обміну**, засновані на фільтруванні води через спеціальні матеріали, що обмінюють вхідні до їхнього складу іони Na^+ і H^+ на іони Ca^{2+} і Mg^{2+} , що містяться у воді;
- ◆ **комбіновані**, що являють собою різні поєднання перерахованих методів.

Технологію обробки води слід вибирати залежно від вимог до якості пари, живильної та котельної води, води для систем теплопостачання і гарячого водопостачання, кількості та якості стоків, що скидаються, а також від якості вихідної води.

При використанні води з поверхневих джерел належить передбачати:

а) фільтрування на освітлювальних фільтрах для видалення завислих речовин при їх кількості до 100 мг/л. Необхідна попередня коагуляція, якщо окислюваність води більше 15 мгО₂/л; або концентрація сполук заліза більше 1 мг/л (у нефільтрованій пробі);

б) коагуляцію в освітлювачах з подальшим фільтруванням на освітлювальних фільтрах для видалення завислих речовин при їх кількості більше 100 мг/л, для видалення органічних включень - при величині окислюваності води більше 15 мгО₂/л протягом більше 30 діб щорічно, для зменшення вмісту сполук заліза. Вказану обробку слід передбачати при величині лужності вихідної води до 1,5 мг-екв/л;

в) вапнування з коагуляцією в освітлювачах з подальшим фільтруванням на освітлювальних фільтрах для зменшення лужності, солевмісту, вмісту сполук заліза, органічних включень, видалення завислих речовин при їх кількості більше 100 мг/л. Вказану обробку слід передбачати при величині лужності вихідної води більше 1,5 мг-екв/л;

г) содовапнування з коагуляцією в освітлювачах з подальшим фільтруванням на освітлювальних фільтрах; вказану обробку допускається передбачати для вод з величиною загальної жорсткості, що перевищує величину загальної лужності;

д) едконатрове зм'якшування з коагуляцією і подальшим фільтруванням на освітлювальних фільтрах. Застосування методу допускається за умови

$$2L_{\text{ВВ}} + \text{CO}_2 = \text{Ж}_{\text{Са}} + L_{\text{Н}} + D_{\text{к}}, \quad (3.1)$$

де $L_{\text{ВВ}}$ - лужність вихідної води, мг-екв/л;

CO_2 - вміст вільної вуглекислоти у вихідній воді, мг-екв/л;

$\text{Ж}_{\text{Са}}$ - кальцієва жорсткість, мг-екв/л;

$L_{\text{Н}}$ - надлишкова лужність обробленої води, що приймається 1-1,5 мг-екв/л;

$D_{\text{к}}$ - доза коагулянта, що додається в оброблювану воду, мг-екв/л.

При застосуванні коагуляції слід передбачати:

– підлогування води з лужністю менше 1 мг-екв/л - для інтенсифікації процесу коагуляції та створення оптимального значення рН;

– дозування хлору або розчину хлорного заліза - за наявності колоїдних органічних речовин, а також при коагуляції сірчаноокислим залізом.

Для інтенсифікації коагуляції або коагуляції з вапнуванням слід передбачати застосування флокулянтів.

Вибір одного з вказаних методів проводять на підставі пробної коагуляції або пробного знезалізнення вихідної води.

Дози реагентів для попередньої обробки води слід приймати відповідно до [2].

При використанні води господарсько-питного водопроводу, води з поверхневих джерел, що пройшла попередню обробку, води з підземних джерел, що пройшла при необхідності знезалізнення, а також води з підземних і поверхневих джерел із вмістом завислих речовин не більше 8 мг/л і

забарвленістю не більше 30 град. слід передбачати натрій-катіонування одноступінчате для зменшення загальної жорсткості до 0,1 мг-екв/л, двоступінчате - нижче 0,1 мг-екв/л. Вказаний метод допускається застосовувати при карбонатній жорсткості менше 3,5 мг-екв/л. Після натрій-катіонування можуть застосовуватися коректувальні методи обробки води: нітратування - для попередження міжкристалітної корозії металу колтів; амнінування - для зменшення вмісту в парі вільної вуглекислоти і зменшення корозії пароконденсатного тракту; фосфатування або трилонування - для захисту від накипних відкладень поверхонь нагріву котлів з тиском пари більше 1,4 МПа.

Кількість освітлювальних фільтрів слід приймати не менше трьох, зокрема один резервний.

Кількість іонітних фільтрів кожного ступеня водопідготовки має бути не менше двох, при цьому необхідно передбачати в двоступінчатих схемах водопідготовки можливість роботи фільтру другого ступеня як фільтру першого ступеня. При виведенні одного з фільтрів на регенерацію ті, що залишилися, повинні забезпечувати розрахункову продуктивність водопідготовки.

Кількість регенерацій фільтрів у зміну слід приймати:

- для фільтрів з ручним управлінням процесом регенерації - не більше трьох (для всієї установки);

- для фільтрів з автоматичним управлінням процесом регенерації - не нормується і визначається залежно від швидкості фільтрування.

При проектуванні слід приймати фільтри найбільших типорозмірів, щоб кількість фільтрів була найменшою.

Для гідроперегрузки фільтруючих матеріалів необхідно передбачати загальний на всю водопідготовчу установку додатковий фільтр ємкістю, достатньою для прийому фільтруючого матеріалу з фільтру найбільшого типорозміру.

Промивку освітлювальних фільтрів слід передбачати, як правило, освітленою водою із застосуванням стислого повітря надлишковим тиском не більше 0,1 МПа.

Для повторного використання промивних вод після освітлювальних фільтрів необхідно передбачати бак і насоси для рівномірної подачі цієї води разом з осадом протягом доби в нижню частину освітлювача.

Ємкість бака має бути розрахована на прийом води від двох промивок.

Розпушування фільтруючих матеріалів необхідно передбачати промивною водою з установкою бака для кожної групи фільтрів різного призначення.

При неможливості розміщення бака на висоті, що забезпечує розпушування, слід передбачати установку насоса. Корисна ємкість бака повинна визначатися з розрахунку кількості води, необхідної для однієї розпушуючої промивки.

Метою виконання розрахунково-графічного завдання (РГЗ) є вивчення процесів підготовки води для котельних установок, застосовуваних, зокрема, на теплових електростанціях, а також одержання практичних навичок з

проектування окремих агрегатів, що складають загальну технологічну схему водопідготовки.

Завдання РГЗ:

1. Вибір схеми зм'якшення, визначення розрахункових витрат. Складання балансової схеми.
2. Розрахунок освітлювальних фільтрів.
3. Розрахунок натрій-катіонітових фільтрів першого ступеня.
4. Розрахунок натрій-катіонітових фільтрів другого ступеня.
5. Розрахунок складу для збереження солі, фільтруючих матеріалів, катіоніту.
6. Розрахунок запасних резервуарів для вихідної води.
7. Розрахунок устаткування для розпушуючого промивання.
8. Розрахунок методів знешкодження промивних вод натрій-катіонітових фільтрів.
9. Компонування устаткування хімводоочистки. Складання технологічної схеми хімводоочистки.

3.2 Вибір схеми зм'якшення і визначення розрахункових витрат

Сумарна концентрація катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} визначає загальну жорсткість води:

$$\text{Ж}_o^{\text{вих}} = \frac{\text{Ca}^{2+}}{20,04} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12,16}, \text{ мг-екв/дм}^3. \quad (3.2)$$

Карбонатна жорсткість дорівнює

$$\text{Ж}_k = \frac{\text{HCO}_3^-}{61,02}, \text{ мг-екв/дм}^3. \quad (3.3)$$

Визначити некарбонатну жорсткість можна за формулою

$$\text{Ж}_{\text{нк}} = \text{Ж}_o^{\text{вих}} - \text{Ж}_k, \text{ мг-екв/дм}^3. \quad (3.4)$$

Витрату води, що підлягає зм'якшенню для господарсько-питних або виробничих потреб, визначаємо згідно за рівнянням, яке можна отримати при складанні рівняння матеріального балансу

$$q_{\text{зм}} = \frac{\text{Ж}_o^{\text{вих}} - \text{Ж}_o^{\text{прип}}}{\text{Ж}_o^{\text{вих}} - \text{Ж}_{\text{зм}}} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

де $q_{\text{зм}}$ - необхідний відсоток зм'якшеної води;

$\text{Ж}_o^{\text{прип}}$ - припустима загальна жорсткість води, мг-екв/дм³;

$\text{Ж}_{\text{зм}}$ - загальна жорсткість води після зм'якшення, мг-екв/дм³.

Після зм'якшення вода, використовувана для господарсько-питних потреб, змішується із сирого водою, що не піддається зм'якшенню, і подається на контактні освітлювачі, що забезпечують її освітлення до вмісту завислих речовин відповідно до вимог до питної води.

Необхідна витрата води для зм'якшення

$$Q_{\text{пом}} = \frac{Q \cdot q_{\text{зм}}}{100}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.6)$$

де Q - витрата води необхідної якості для споживача, $\text{м}^3/\text{год}$.

Загальна потужність хімоводоочистки складає

$$Q_{\text{пом}} = Q_{\text{пом}}^{\text{ВП}} + Q_{\text{пом}}^{\text{Г/П}} \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.7)$$

де $Q_{\text{пом}}^{\text{ВП}}$ - витрата води для виробничих потреб, $\text{м}^3/\text{год}$;

$Q_{\text{пом}}^{\text{Г/П}}$ - витрата води для господарсько-питних пореб, $\text{м}^3/\text{год}$.

При визначенні загальної витрати води, що очищається, необхідно враховувати власні потреби хімоводоочистки, що складають:

- 1) освітлювальні фільтри – 3-10%;
- 2) двоступінчасте натрій-катіонування з урахуванням використання 50% відмивної води - для першого ступеня фільтрів – 10-12%;
- 3) для другого ступеня фільтрів – 2-5%.

Таким чином, загальна витрата води, що надходить на освітлювальні фільтри, з урахуванням власних потреб ($7+10+3=20\%$) становить

$$Q_{\text{осв.ф}} = 1,20 \cdot Q_{\text{пом}} \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.8)$$

Загальна витрата води, що надходить на натрій-катіонування, для першого ступеня дорівнює

$$Q_{\text{кат.ф.І}} = Q_{\text{пом}} \cdot 1,05, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.9)$$

(промивання першого ступеня проясненою, але не зм'якшеною водою);

для другого ступеня $Q_{\text{кат.ф.ІІ}} = Q_{\text{пом}}, \text{ м}^3/\text{год}$

(відмивання другого ступеня виконують зм'якшеною водою першого ступеня).

3.3 Розрахунок освітлювальних фільтрів

У процесі попереднього очищення на освітлювальних фільтрах з вихідної води виділяються грубодисперсні й колоїдні домішки, а також знижується бікарбонатна лужність води. Якщо у воді джерела водопостачання концентрація завислих речовин не перевищує 100 мг/л , а окислюваність - $15 \text{ мг О}_2/\text{л}$, то попереднє очищення води здійснюють на механічних фільтрах.

Для водопідготовки застосовують напірні однопоточні фільтри із завантаженням кварцовим піском або подрібненим антрацитом, або з двошаровим завантаженням – антрацит і кварцовий пісок.

Кількість фільтрів приймають не менше трьох, у тому числі один резервний. Для потужності установки більше $70 \text{ м}^3/\text{год}$ рекомендовано встановлювати не менше 4 фільтрів. Під час промивання одного з фільтрів збільшення швидкості фільтрування дозволяється не більше 30%, що також впливає на вибір кількості фільтрів.

Під час розрахунку беруться до уваги два режими роботи фільтрів: *нормальний* – працюють усі фільтри з періодичним відключенням одного

фільтра на промивання і *форсований* – один фільтр відключений для ремонту, а другий періодично промивається.

Фільтр для промивання відключають, коли прозорість фільтрату зменшується до 20 см за шрифтом або коли втрати тиску на фільтрі збільшуються до 6-8 м вод. ст. Якщо кількість завислих речовин невелика, то фільтри відключають для промивання 1 раз в 1-3 доби.

Для промивання фільтрів використовують освітлену воду після фільтрів, тому потужність фільтрів повинна окрім заданої величини враховувати ще й витрату для власних потреб. Через це технологічні розрахунки для багатоступеневого очищення води слід розпочинати з хвостових апаратів.

Напірний однопотоковий фільтр складається з циліндричного корпусу з привареними до нього сферичними днищами. Всередині фільтра розташований шар фільтруючого матеріалу і дренажно-розподільна система, необхідна для рівномірного розподілу і збору води по всій площі поперечного перерізу фільтра. Верхній дренажний пристрій найчастіше оформляється у вигляді відбійного щита, що гасить енергію потоку води, а нижній розташований на шарі кислототривкого бетону, що заливається на днищі фільтра і виконаний у вигляді трубної системи, що складається з колектора з бічними відгалуженнями, які відводять воду спеціальними ковпачками чи щілинними пристроями. Частина порожнини фільтра над фільтруючим матеріалом залишається вільною для вирівнювання швидкості води, що надходить на фільтруючий шар, і для можливості розширення шару при його розпушенні. Промивання освітлювальних фільтрів проводять проясненою водою.

Фільтри підбираємо за загальною площею фільтрування розрахункової кількості води з урахуванням власних потреб.

Порядок розрахунку

Загальну площу фільтрування визначають за формулою

$$F_{\text{осв.ф}} = \frac{Q_{\text{осв.ф}}}{V_{\text{н}}}, \text{ м}^2, \quad (3.10)$$

де $V_{\text{н}}$ - швидкість фільтрування при нормальному режимі, м/г (*Додаток 1*).

Площу кожного фільтра та їх кількість визначають шляхом підбору зі стандартних (*Додаток 2*).

Середня витрата води на власні потреби одного фільтра дорівнює

$$q_{\text{осв.ф}} = \frac{q_{\text{пр}} \cdot \tau \cdot n}{24}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.11)$$

де $q_{\text{пр}}$ - витрата води на одне промивання фільтра, м³:

$$q_{\text{пр}} = \frac{i \cdot 60 \cdot t \cdot f}{1000}, \text{ м}^3, \quad (3.12)$$

де i - інтенсивність промивання, л/с м² (*Додаток 1*);

t - тривалість промивання, хв. (*Додаток 1*);

τ - кількість промивань кожного фільтра, приймаємо 1-2 рази;

n - кількість фільтрів.

Необхідно перевірити швидкість фільтрації при нормальному режимі – один фільтр у промиванні V_H і при форсованому режимі – два фільтри не працюють (один фільтр у промиванні, другий у ремонті) - V_{ϕ} :

$$V_H = \frac{Q_{\text{осв.ф}} + q_{\text{осв.ф}}}{f \cdot (n-1)}, \text{ м/год.}; \quad (3.13)$$

$$V_{\phi} = \frac{Q_{\text{осв.ф}} + q_{\text{осв.ф}}}{f \cdot (n-2)}, \text{ м/год.} \quad (3.14)$$

Якщо швидкості виходять завищеними, необхідно збільшити кількість фільтрів та повторити розрахунок.

3.4 Розрахунок натрій-катіонітових фільтрів

Зм'якшення води за допомогою іонного обміну здійснюється шляхом фільтрування оброблюваної води через катіонітові фільтри. У цій роботі прийняті натрій-катіонітові фільтри.

Даний метод може бути реалізований за одно- чи двоступінчастою схемою. Метод одноступінчатого катіонування має ряд недоліків:

- одержання фільтрату з жорсткістю до 0,1 мг-екв/л можливо при зм'якшенні вихідної води з жорсткістю до 7 мг-екв/л;
- практично неможливе одержання глибокозм'якшеної води;
- відносно висока витрата реагентів на регенерацію;
- неповне використання обмінної ємкості іоніту;
- необхідність ретельного контролю за «проскакуванням» солей жорсткості.

При двоступінчастому катіонуванні перераховані недоліки усуваються.

Вихідними даними для розрахунку натрій-катіонітових фільтрів є: продуктивність, загальна і залишкова жорсткість. Для фільтрів другого ступеня приймаємо, що надходить вода із залишковою загальною жорсткістю 0,1 мг-екв/дм³.

Основні технічні показники натрій-катіонітових фільтрів наведені в Додатку 4.

Кількість фільтрів повинна бути не менше двох і додатково один резервний.

Порядок розрахунку

Натрій-катіонітові фільтри першого ступеня

Для м'якої води з жорсткістю до 5 мг-екв/дм³ розрахунок здійснюється за швидкістю, для води з жорсткістю понад 5 мг-екв/дм³ – за кількістю регенерацій, яка повинна бути не більше 3.

При використанні води з поверхневих джерел вихідна жорсткість скоріш за все перевищує 5 мг-екв/дм³, тому розрахунок проводять за кількістю регенерацій.

Загальна площа фільтрів дорівнює:

$$F_{\text{кат.ф.І}} = \frac{24 \cdot Q_{\text{кат.ф.І}} \cdot Ж_{\text{о}}^{\text{вих}}}{n_p \cdot H_{\text{ш}} \cdot E_{\text{роб}}^{\text{катІ}}}, \text{ м}^2, \quad (3.15)$$

де $H_{\text{ш}}$ - висота робочого шару катіоніту, м (Додаток 3);

$E_{\text{роб}}^{\text{кат}}$ - робоча обмінна здатність катіоніту, г-екв/м³:

$$E_{\text{роб}}^{\text{катІ}} = \alpha \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{повн}}^{\text{кат}} - 0,5 \cdot q_{\text{відм}} \cdot Ж_{\text{о}}^{\text{вих}}, \quad (3.16)$$

де α - коефіцієнт ефективності регенерації залежно від питомої витрати солі (Додаток 5);

β_{Na} - коефіцієнт, що враховує зниження обмінної здатності катіоніту по Ca^{2+} і Mg^{2+} за рахунок вмісту Na^{+} (Додаток 6);

$E_{\text{повн}}^{\text{кат}}$ - повна обмінна ємкість, г-екв/м³, залежить від обраного катіоніту (Додаток 3);

$q_{\text{відм}}$ - питома витрата води на відмивання катіоніту, м³/м³ (Додаток 4).

Площу кожного фільтра та їх кількість n визначають шляхом підбору зі стандартних (Додаток 7).

Визначаємо швидкість руху води через фільтри. Швидкість руху води при нормальному режимі

$$V_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{кат.ф.І}}}{f \cdot n}, \text{ м/год}, \quad (3.17)$$

отримане значення не повинне перевищувати 10 м/год (Додаток 4). Швидкість фільтрування менше 5 м/год не рекомендується через можливе зниження обмінної ємкості катіоніту.

Якщо отримані швидкості завищені або занижені, необхідно збільшити або зменшити кількість фільтрів та ще раз визначити швидкості фільтрування.

При форсованому режимі швидкість дорівнюватиме

$$V_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{кат.ф.І}}}{f \cdot (n-1)}, \text{ м/год}. \quad (3.18)$$

Перевіряємо кількість регенерацій

$$n_p = \frac{24 \cdot Q_{\text{кат.ф.І}} \cdot Ж_{\text{о}}^{\text{вих}}}{f \cdot H_{\text{ш}} \cdot n \cdot E_{\text{роб}}^{\text{катІ}}}. \quad (3.19)$$

Якщо n_p не набагато перевищує 2, доведення кількості регенерацій до розрахункового значення можливе за рахунок деякого збільшення витрати солі.

Необхідно провести *розрахунок, виходячи зі швидкості руху потоку через фільтри*. Приймаючи відповідно до Додатку 4 $V_{\text{н}}$, м/год, і $V_{\text{ф}}$, м/год, визначають загальну площу фільтрів за формулою

$$F'_{\text{кат.ф.І}} = \frac{Q_{\text{кат.ф.І}}}{V_{\text{н}}}, \text{ м}^2; \quad (3.20)$$

$$F''_{\text{кат.ф.І}} = \frac{Q_{\text{кат.ф.І}}}{V_{\text{ф}}}, \text{ м}^2. \quad (3.21)$$

Після підбору фільтрів за таким способом та визначення їх кількості необхідно перевірити кількість регенерацій

$$n'_p = \frac{24 \cdot Q_{\text{кат.ф.І}} \cdot \text{Ж}_o^{\text{вих}}}{f \cdot H_{\text{ш}} \cdot n \cdot E_{\text{роб}}^{\text{катІ}}}, \quad (3.22)$$

Завищена кількість регенерацій ускладнює експлуатацію і є неприйнятною (норми рекомендують не більше трьох регенерацій).

Таким чином, на підставі проведених розрахунків затверджується рішення про установку необхідної кількості робочих і резервних фільтрів.

Процес регенерації включає три операції: розпушення, власне регенерацію (пропуск сольового розчину) і відмивання. Загальна тривалість процесу регенерації при використанні сульфовугілля складає 2 години (Додаток 4).

Визначають витрату солі на одну регенерацію одного фільтра

$$Q_{\text{сІ}} = \frac{E_{\text{роо}}^{\text{катІ}} \cdot f \cdot H_{\text{ш}} \cdot q_{\text{с}}}{1000}, \text{ кг}, \quad (3.23)$$

де $q_{\text{с}}$ - питома витрата солі на регенерацію, г/г-екв (Додаток 4);

Знаходять добову витрату технічної солі (93%) на регенерацію усіх фільтрів

$$Q_{\text{сІ}}^{\text{заг}} = \frac{Q_{\text{сІ}} \cdot n_p \cdot n \cdot 100}{93}, \text{ кг/доб.} \quad (3.24)$$

Визначають витрату води на розпушення завантаження фільтра (за даними Додатку 4):

$$Q_{\text{розп}} = \frac{i \cdot f \cdot 60 \cdot t_{\text{розп}}}{1000}, \text{ м}^3, \quad (3.25)$$

де i - інтенсивність промивання, л/с м²;

$t_{\text{розп}}$ - час розпушення, хв.

Витрату води на приготування розчину солі встановлюють, виходячи з кількості солі і концентрації розчину (Додаток 4):

$$Q_p = \frac{Q_{\text{с.І}} \cdot 100}{1000 \cdot p \cdot b}, \text{ м}^3, \quad (3.26)$$

де p - щільність розчину, кг/м³, приймається залежно від b (Додаток 8);

b - концентрація розчину, % (Додаток 4).

Витрата води на відмивання катіоніту від продуктів регенерації дорівнює

$$Q_{\text{відм}} = q_{\text{відм}} \cdot f \cdot H_{\text{ш}}, \text{ м}^3, \quad (3.27)$$

де $q_{\text{відм}}$ - питома витрата на відмивання, $\text{м}^3/\text{м}^3$ (Додаток 4).

Загальна витрата води на одну регенерацію:

без використання відмивної води

$$Q_{\text{рег}} = Q_{\text{розп}} + Q_{\text{р}} + Q_{\text{відм}} \text{ м}^3; \quad (3.28)$$

з використанням 50% відмивної води

$$Q'_{\text{рег}} = Q_{\text{розп}} + Q_{\text{р}} + \frac{Q_{\text{відм}}}{2} \text{ м}^3. \quad (3.29)$$

Середньогодинна витрата води на власні потреби натрій-катионітових фільтрів першого ступеня дорівнює:

без урахування відмивної води

$$Q_{\text{власн}} = \frac{Q_{\text{рег}} \cdot n \cdot n_{\text{р}}}{24}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.30)$$

з урахуванням відмивної води

$$Q'_{\text{власн}} = \frac{Q'_{\text{рег}} \cdot n \cdot n_{\text{р}}}{24}, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.31)$$

Визначають, який відсоток складає витрата відмивної води від витрати оброблюваної.

Межрегенерацийний період роботи фільтра потрібно встановлювати з метою виключення збігу промивань:

$$T = \frac{24}{n_{\text{р}}} - t_{\text{рег}}, \text{ год}, \quad (3.32)$$

де $t_{\text{рег}}$ - час регенерації кожного фільтра, год.:

$$t_{\text{рег}} = t_{\text{розп}} + t_{\text{р}} + t_{\text{відм}}, \text{ хв.}, \quad (3.33)$$

де $t_{\text{розп}}$ - час розпушення завантаження фільтра, хв., приймається з Додатку 3;

$t_{\text{р}}$ - час пропуску регенераційного розчину, хв.:

$$t_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{р}} \cdot 60}{V_{\text{р}} \cdot f}, \text{ хв.}, \quad (3.34)$$

де $V_{\text{р}}$ - швидкість пропуску регенераційного розчину, м/год, приймається з Додатку 3;

$t_{\text{відм}}$ - час відмивання завантаження фільтра від продуктів регенерації, хв.:

$$t_{\text{відм}} = \frac{Q_{\text{відм}} \cdot 60}{V_{\text{відм}} \cdot f}, \text{ хв.}, \quad (3.35)$$

де $V_{\text{відм}}$ - швидкість відмивання, м/год, приймається з Додатку 4;

Кількість одночасних регенерацій фільтрів першого ступеня визначають за формулою

$$n_{o.p.} = \frac{n_p \cdot n \cdot t_{рег}}{24}. \quad (3.36)$$

Якщо $n_{o.p.} < 1$, збігу регенерацій фільтрів першого ступеня не буде.

Натрій-катіонітові фільтри другого ступеня

Розрахунок натрій-катіонітових фільтрів другого ступеня здійснюють на витрату $Q_{кат.ф.ІІ}$, використовуючи розрахунок першого ступеня фільтрів і *Додаток 4*. Загальна жорсткість води, що надходить на фільтри другого ступеня, прийнята $Ж_{ІІ} = 0,1$ мг-екв/дм³.

У зв'язку з незначною жорсткістю розрахунок виконують за швидкостями.

Площа натрій-катіонітових фільтрів другого ступеня дорівнює:

$$F_{кат.ф.ІІ} = \frac{Q_{кат.ф.ІІ}}{V_H}, \text{ м}^2. \quad (3.37)$$

Площу кожного фільтра f та їх кількість n визначають шляхом підбору зі стандартних (*Додаток 7*).

Швидкість фільтрування при нормальному режимі складає

$$V_H = \frac{Q_{кат.ф.ІІ}}{f \cdot n}, \text{ м/год.} \quad (3.38)$$

При форсованому режимі (регенерації чи ремонті) швидкість фільтрування становитиме

$$V_{ф} = \frac{Q_{кат.ф.ІІ}}{f \cdot (n-1)}, \text{ м/год,} \quad (3.39)$$

що відповідає даним *Додатку 4*.

Відмивання завантаження після регенерації здійснюють зм'якшеною водою першого ступеня.

Встановлюють кількість регенерацій за добу:

$$n_p = \frac{24 \cdot Q_{кат.ф.ІІ} \cdot Ж_{ІІ}}{f \cdot H_{ш} \cdot n \cdot E_{роб}^{катІІ}}. \quad (3.40)$$

Знаходять витрату солі на регенерацію фільтрів другого ступеня:

$$Q_{сІІ} = \frac{E_{роб}^{катІІ} \cdot f \cdot H_{ш} \cdot q_c}{1000}, \text{ кг.} \quad (3.41)$$

Визначають добову витрату технічної солі (93%) на регенерацію фільтрів другого ступеня за добу:

$$Q_{сІІ}^{заг} = \frac{Q_{сІІ} \cdot n_p \cdot n \cdot 100}{93}, \text{ кг/доб.} \quad (3.42)$$

Знаходять витрату води на регенерацію фільтрів другого ступеня.

Визначають витрату води на розпушення завантаження фільтра (за даними *Додатку 4*):

$$Q_{\text{розп}} = \frac{i \cdot f \cdot 60 \cdot t_{\text{розп}}}{1000}, \text{ м}^3, \quad (3.43)$$

де i - інтенсивність промивання, л/с·м²;

$t_{\text{розп}}$ - час розпушення, хв.

Витрату води на приготування розчину солі встановлюють, виходячи з кількості солі і концентрації розчину (*Додаток 4*):

$$Q_p = \frac{Q_{\text{сП}} \cdot 100}{1000 \cdot p \cdot b}, \text{ м}^3, \quad (3.44)$$

де p - щільність розчину, кг/м³; $p=1,056$ кг/м³;

b - концентрація розчину, %.

Витрата води на відмивання катіоніту від продуктів регенерації дорівнює

$$Q_{\text{відм}} = q_{\text{відм}} \cdot f \cdot H_{\text{ш}}, \text{ м}^3, \quad (3.45)$$

де $q_{\text{відм}}$ - питома витрата на відмивання, м³/м³ (*Додаток 4*).

Загальна витрата води на одну регенерацію натрій-катіонітових фільтрів другого ступеня:

без використання відмивної води

$$Q_{\text{рег}} = Q_{\text{розп}} + Q_p + Q_{\text{відм}}, \text{ м}^3; \quad (3.46)$$

з використанням 50% відмивної води

$$Q'_{\text{рег}} = Q_{\text{розп}} + Q_p + \frac{Q_{\text{відм}}}{2}, \text{ м}^3. \quad (3.47)$$

Середньогодинна витрата води на власні потреби натрій-катіонітових фільтрів другого ступеня дорівнює:

без урахування відмивної води

$$Q_{\text{власн}} = \frac{Q_{\text{рег}} \cdot n \cdot n_p}{24}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.48)$$

з урахуванням відмивної води

$$Q'_{\text{власн}} = \frac{Q'_{\text{рег}} \cdot n \cdot n_p}{24}, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.49)$$

Визначають відсоток витрати відмивної води від витрати оброблюваної.

3.5 Додаткові споруди та устаткування

При хімоводоочистці передбачають:

- ✓ склади реагентів і фільтруючих матеріалів;
- ✓ резервуари вихідної (сирої) і зм'якшеної води;
- ✓ насосні установки для сирої води;
- ✓ баки і насоси для розпушуючого промивання;

- ✓ баки і насоси для збору дренажних вод і їхнього перекачування після відмивання катіонітових фільтрів і подачі води для розведення міцного розчину солі при регенерації;
- ✓ мірні ємкості для міцного розчину;
- ✓ фільтри чи солерозчинники;
- ✓ бачок постійного рівня в резервуарі мокрого зберігання солі;
- ✓ водоводяні насоси (ежектори) для подачі розчину солі на регенерацію і відкачки бруду зі складу;
- ✓ устаткування для знешкодження стічних вод після регенерації (запасна ємкість, бак для приготування соди, відстійник і змішувач).

3.5.1 Склади для зберігання солі

Усі сучасні види хімоводоочистки обладнані складами мокрого зберігання солі. Сухе зберігання і приготування солі в солерозчиннику має істотні недоліки: складність завантаження, видалення з розчину тільки грубої суспензії, велика нерівномірність міцності розчину.

Для мокрого зберігання передбачають два (*обов'язково!*) залізобетонних баки, покритих проти корозії епоксидною шпаклівкою по незатертому залізобетону.

Об'єм резервуарів для зберігання солі звичайно потрібно підбирати з 30-добового запасу з урахуванням залишку на 10 днів.

Виходячи з ємкості 1,5 м³ на 1 тону солі, необхідний об'єм складу:

$$W = \frac{1,5 \cdot \Sigma Q_c \cdot (B + P)}{1000}, \text{ м}^3, \quad (3.50)$$

де ΣQ_c - загальна витрата солі за добу (для першого і другого ступеня):

$$\Sigma Q_c = Q_{cI}^{\text{заг}} + Q_{cII}^{\text{заг}} \text{ кг}; \quad (3.51)$$

B - 30-ти добовий запас;

P - 10-ти добовий резерв.

Приймають необхідну кількість резервуарів (*Додаток 8*).

На складі солі в приміщенні хімоводоочистки передбачають для кожного резервуара по одному ежектору з дистанційним керуванням для видалення бруду і по одному насосу для відкачки розчину солі. Розчин солі прокачується через фільтр (ним служить солерозчинник) і надходить у мірник (бак) міцного 26%-го розчину. З мірника розчин через ежектори розбавляють дренажними насосами до 2-8% міцності та подають на регенерацію фільтрів.

Місткість мірника визначають виходячи з добового розчину солі на всю хімоводоочистку (обох ступеней фільтрів) з урахуванням промивання другого ступеня в цю добу:

$$W_M = \frac{\Sigma Q_c \cdot 100}{1000 \cdot 26 \cdot p \cdot m}, \text{ м}^3, \quad (3.52)$$

де 26 - міцність розчину, %;

p - щільність розчину (*Додаток 8*);

m - кількість мірників.

Приймають необхідні розміри бака-мірника. Підбирають солерозчинник, виходячи зі швидкості потоку $V=4-6$ м/год. Приймають час роботи кожного солерозчинника в добу t , год. Тоді витрата розчину солі на солерозчинник дорівнює:

$$W_{\text{сол}} = \frac{W_M}{t}, \text{ м}^3. \quad (3.53)$$

При заданій швидкості площа солерозчинника буде дорівнювати

$$f_{\text{сол}} = \frac{W_{\text{сол}}}{V}, \text{ м}^2. \quad (3.54)$$

Приймають стандартний солерозчинник (*Додаток 9*) і встановлюють для кожного резервуара по одному насосу для перекачування розчину. Продуктивність насосу по солерозчиннику складає:

$$Q_{\text{нас.сол}} = f_{\text{сол}} \cdot V, \text{ м}^3/\text{год}.$$

3.5.2 Склад для зберігання сипучих фільтруючих матеріалів

Склад для зберігання фільтруючих матеріалів для освітлювальних фільтрів. Втрата фільтруючого матеріалу відповідно до норми прийнята 10% за рік. Робочий об'єм шару фільтруючого матеріалу в освітлювальних фільтрах дорівнює

$$V_{\text{осв.ф}} = F_{\text{осв.ф}} \cdot h_{\text{осв.ф}} \cdot n, \text{ м}^3. \quad (3.55)$$

Необхідна щорічна добавка фільтруючого матеріалу

$$V_{\text{осв.ф}}^{\text{доб}} = V_{\text{осв.ф}} \cdot 0,1, \text{ м}^3. \quad (3.56)$$

Визначають необхідну площу складу при висоті завантаження 1,0 м.

Склад для зберігання катіоніту. Місткість його необхідно визначати, виходячи з необхідності підсипання в перший рік 20%, потім щорічно по 12% завантаження. Розрахунок складу слід виконувати виходячи з річного запасу на кожний рік

$$\begin{aligned} V_{\text{зап}} &= (V_{\text{кат.І}} + V_{\text{кат.Іа}}) \cdot 0,2 = \\ &= (f_{\text{кат.І}} \cdot h_{\text{кат.І}} \cdot n + f_{\text{кат.Іа}} \cdot h_{\text{кат.Іа}} \cdot n) \cdot 0,2, \text{ м}^3. \end{aligned} \quad (3.57)$$

Приймають висоту засипання у складі (1,5 м) і визначають площу складу.

Визначають загальну площу двох складів та komponують їх в загальному плані зі складом солі та хімводоочисткою.

Запасні резервуари для вихідної води. Резервуари вихідної води слід передбачати, виходячи із шестигодинного запасу води. Кількість резервуарів – не менше 2, з урахуванням ремонту і чищення. При загальній корисній витраті $Q_{\text{кат.ф.ІІ}}$ необхідна ємкість резервуарів дорівнює:

$$W_{\text{рез}} = Q_{\text{кат.ф.ІІ}} \cdot 6, \text{ м}^3.$$

Приймають необхідну кількість стандартних залізобетонних резервуарів (*Додаток 8*).

Запасні резервуари зм'якшеної води треба приймати рівними резервуарам вихідної води. У деяких випадках їхня ємкість визначається

технологічними вимогами споживача і доходить до 12-годинного запасу, особливо якщо хімводоочистка працює неповну добу. Кількість резервуарів – не менше двох.

3.5.3 Устаткування для розпушуючого промивання

Промивання, що розпушує, для освітлювальних і натрій-катіонітових фільтрів слід робити із загальних баків. Кількість баків – не менше 2, з огляду на можливість ремонту і чищення.

Загальний об'єм баків дорівнює:

$$V_{\text{общ}}^{\text{розп}} = V_{\text{осв.ф}}^{\text{розп}} + V_{\text{кат.І}}^{\text{розп}} + V_{\text{кат.Іа}}^{\text{розп}} = \frac{1}{2} \left(2,0 \cdot Q_{\text{осв.ф}}^{\text{розп}} + 1,3 \cdot Q_{\text{кат.І}}^{\text{розп}} + 1,3 \cdot Q_{\text{кат.ІІ}}^{\text{розп}} \right), \text{ м}^3, \quad (3.58)$$

де $V_{\text{осв.ф}}^{\text{розп}}$, $V_{\text{кат.І}}^{\text{розп}}$, $V_{\text{кат.ІІ}}^{\text{розп}}$ – об'єм води для розпушення завантаження фільтрів відповідно освітлювальних, натрій-катіонітових І й ІІ ступенів;

2,0 і 1,3 – коефіцієнти запасу;

2 – кількість баків;

$Q_{\text{осв.ф}}^{\text{розп}}$, $Q_{\text{кат.І}}^{\text{розп}}$, $Q_{\text{кат.ІІ}}^{\text{розп}}$ – витрата води для розпушення завантаження фільтрів відповідно освітлювальних, натрій-катіонітових І й ІІ ступенів;

$$Q_{\text{осв.ф}}^{\text{розп}} = \frac{i \cdot f \cdot 60 \cdot t_{\text{розп}}}{1000}, \text{ м}^3, \quad (3.59)$$

де i – інтенсивність промивання, л/с м² (Додаток І);

f – площа фільтра;

$t_{\text{розп}}$ – час розпушення, хв. (Додаток І) .

Приймають необхідну кількість баків.

Підбираємо насоси для розпушення освітлювальних фільтрів.

Необхідну витрату для промивання освітлювальних фільтрів $Q_{\text{осв.ф}}^{\text{пром.}}$ визначають, виходячи з інтенсивності промивання і площі фільтрів:

$$Q_{\text{осв.ф}}^{\text{пром.}} = \frac{i \cdot f \cdot 3600}{1000}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3.60)$$

Насос завантажений у добу

$$T_{\text{осв.ф}} = \frac{t \cdot \tau \cdot n}{60}, \text{ год.}$$

Розрахунок необхідної витрати для промивання натрій-катіонітових фільтрів проводять щодо першого ступеня, тому що, як правило, фільтри другого ступеня промивають рідше та площа їх менша.

Необхідну витрату для промивання знаходять за інтенсивністю промивання і площею фільтра (з розрахунку, проведеного раніше, перевіряють наявність збігу промивань):

$$Q_{\text{кат.І}}^{\text{пром.}} = \frac{i \cdot f \cdot 3600}{1000}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3.61)$$

Загальне число промивань натрій-катіонітових фільтрів

$$n_{\text{пр}} = n_{\text{пр}}^{\text{I}} \cdot N_{\text{ф}}^{\text{I}} + n_{\text{пр}}^{\text{II}},$$

де $n_{\text{пр}}^{\text{I}}$ - кількість промивань кожного фільтру першого ступеня;

$N_{\text{ф}}^{\text{I}}$ - кількість фільтрів першого ступеня;

$n_{\text{пр}}^{\text{II}}$ - кількість промивань кожного фільтру другого ступеня (проводимо розрахунок на добу, в яку здійснюють регенерацію).

Час роботи насосу в добу

$$T_{\text{кат.}} = \frac{t \cdot n_{\text{пр}}}{60}, \text{ год.};$$

без фільтра другого ступеня

$$T_{\text{кат.}} = \frac{t \cdot (n_{\text{пр}} - n_{\text{пр}}^{\text{II}})}{60}, \text{ год.}$$

3.5.4 Устаткування для регенерації натрій-катіонітових фільтрів

Витрату розчину на регенерацію $Q_{\text{кат. I}}^{\text{рег.}}$ слід розраховувати для фільтрів першого ступеня як фільтрів більшої площі:

$$Q_{\text{кат. I}}^{\text{рег.}} = V_p \cdot f, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.62)$$

де V_p - швидкість пропуску регенераційного розчину, м/год (Додаток 4).

Регенерацію виконуємо спочатку 2% розчином солі з розрахунку 1,2 м³ розчину на 1 м³ сульфовугілля, потім – 8%-ним розчином. Витрата 2%-ного розчину

$$Q_{2\%} = f \cdot H_{\text{ш}} \cdot 1,2 \text{ м}^3, \quad (3.63)$$

що складає по солі

$$M_{2\%} = \frac{Q_{2\%} \cdot 1000 \cdot b \cdot p}{100}, \text{ кг}, \quad (3.64)$$

пропускається протягом 1 години.

Загальна витрата солі на регенерацію фільтра першого ступеня складає $Q_{\text{сІ}}$, тобто $(Q_{\text{сІ}} - Q_{2\%})$ кг потрібно розвести до 8%-ній концентрації. Витрата 8%-ного розчину

$$Q_{8\%} = \frac{1300 \cdot 100}{b \cdot p \cdot 1000}, \text{ м}^3. \quad (3.65)$$

3.5.5 Відмивання натрій-катіонітових фільтрів

Відмивання натрій-катіонітових фільтрів першого ступеня здійснюють проясненою водою. 50% відмивної води скидають в стік, а 50% повертають для використання (для розпушення).

Відмивання натрій-катіонітових фільтрів другого ступеня проводять зм'якшеною водою і звичайно вся вона використовується для розпушення. Відмивання виконують з трубопроводів хімводоочистки. Використана вода скидається у спеціальні дренажні баки. Воду з них перекачують в резервуар для розпушення. При дренажному резервуарі встановлюють один (іноді два) насоси для перекачування води в баки для розпушення.

Ємкість дренажного бака дорівнює

$$W_{\text{дрен}} = W_{\text{кат.І}} + W_{\text{кат.ІІ}}, \text{ м}^3, \quad (3.66)$$

де $W_{\text{кат.І}}$ - витрата 50% відмивної води від відмивання натрій-катіонітових фільтрів першого ступеня, м^3 ;

$W_{\text{кат.ІІ}}$ - витрата 100% відмивної води від відмивання натрій-катіонітових фільтрів другого ступеня, м^3 .

Приймають дренажний бак. При баці встановлюють насос для відкачки води.

3.6 Методи знешкодження стічних вод від натрій-катіонітових хімводоочисток

Стічні води хімводоочисток сильно забруднюють річки і водойми. На підставі водяного законодавства скидання стоків після регенерації натрій-катіонітових фільтрів (соляні стоки) заборонено, і для кожної схеми водоочищення розробляються свої методи знешкодження стічних вод.

Найбільш реальним у даний час є метод, сутність якого полягає в обробці стоків після регенерації 7%-ним розчином кальцинованої соди з розрахунку $q_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 1,1 \text{ кг на } 1 \text{ кг оброблюваних хлоридів } \text{Ca}^{2+} \text{ і } \text{Mg}^{2+}$. У результаті такої обробки розчин звільняється на 99,3% від солей кальцію і магнію і його можна повторно використовувати для регенерації.

Відповідно до запропонованої технологічної схеми, потрібно приготувати розчин соди, перемішати його у вихровому змішувачі, відстояти в невеликому вертикальному відстійнику і пропустити через кварцовий фільтр чи солерозчинник (можна повернути на склад солі). У відстійник додають вапняне молоко. Шлам підсушують і використовують в будівництві.

Витрата соди дорівнює

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{\left(\left[\text{Ca}^{2+} \right] + \left[\text{Mg}^{2+} \right] \right) \cdot Q_{\text{пом}} \cdot q_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot 24}{1000}, \text{ кг/доб.} \quad (3.67)$$

Витрату вапна потрібно розраховувати, виходячи з норми $q_{\text{Ca(OH)}_2} =$

1 кг на 1 кг солей магнію. Тоді витрата вапна в добу дорівнює:

$$B = \frac{[Mg^{2+}] \cdot Q_{\text{пом}} \cdot q_{Ca(OH)_2} \cdot 24}{1000}, \text{ кг/доб.} \quad (3.68)$$

Приймають не менше двох вертикальних відстійників, виходячи зі швидкості $V=0,3$ мм/с, кількості стоків власне тільки для регенерації. Діаметр кожного відстійника

$$D = \sqrt{1,5 \frac{Q}{V \cdot 0,8 \cdot n}}, \text{ м,} \quad (3.69)$$

де Q - кількість відпрацьованого регенераційного розчину після регенерації всіх фільтрів першого ступеня за добу, м^3 .

Все устаткування встановлюється на складі солі, де періодично два рази на добу проводиться очищення стоків.

3.7 Компонування устаткування хімводоочистки

Для нормального обслуговування у приміщенні повинні дотримуватися такі умови:

- 1) відстань від стінки фільтра до стіни будинку має бути не менше 700 мм (бажано 1 м), те ж між фільтрами;
- 2) відстань між рядами фільтрів – не менше 2 м (бажано 2,6 м – для зручності обслуговування комунікацій);
- 3) відстань між насосами, баком та іншим устаткуванням – не менше 1 м;
- 4) склади реагентів повинні примикати до будинку хімводоочистки дистанційно. Їхнє устаткування треба розташовувати в загальному машинному залі;
- 5) висота будинку хімводоочистки – машинного залу – має бути не менше 5-5,6 м до підкранової колії.

Установка устаткування – дворядна. У першому ряді потрібно встановлювати освітлювальні фільтри, в другому – натрій-катіонітові.

Комунікації слід проектувати таким чином, щоб забезпечувалася безперебійна робота хімводоочистки. Діаметри трубопроводів підбирають виходячи із швидкості 1,2-1,5 м/с, діаметри промивних ліній – із швидкості 2,5 м/с.

Склад солі і фільтруючих матеріалів komponують в торці, а насоси і баки для розпушення і регенерації – у третьому ряді.

Резервуари вихідної і зм'якшеної води виносять за межі хімводоочистки.

На другому поверсі розташовують лабораторію і побутові приміщення.

Знешкодження стічних вод після регенерації натрій-катіонітових фільтрів проводять два рази на добу в складі солі, де розміщений відстійник, вихровий змішувач і резервуар для збору використаного реагентного розчину.

Далі складають технологічну схему хімводоочистки.

Технологічна схема – це безмасштабне зображення устаткування, комунікацій і контрольно-вимірювальної апаратури. Звичайно її виконують площинною.

Перед складанням схеми необхідно намітити умовні позначки, що характеризують тип фільтрів (освітлювальні фільтри, натрій-катіонітові 1 і 2 ступеня) і характер рідини (вихідна вода з джерела, прояснена вода, зм'якшена вода після фільтрів першого ступеня, зм'якшена вода після фільтрів другого ступеня, промивна вода, дренажна вода, розчин солі), каналізаційний канал, повітропровід та ін.

Відповідно до прийнятого компонування устаткування освітлювальні й натрій-катіонітові фільтри розташовують в два ряди: перший ряд – освітлювальні фільтри, другий ряд - натрій-катіонітові фільтри (другий ступінь – наприкінці).

Діаметри основних трубопроводів: вихідної води – 200, зм'якшеної води – 200 мм. Трубопроводи – зі сталевих труб, покритих ізоляцією проти корозії. Фланці встановлені тільки в місцях арматури, інша частина – на зварюванні. Фільтри і баки покриті тепловою ізоляцією від потіння і корозії. Засувки і мембранні клапани в основному електрифіковані, керування – кнопочове, дистанційне на загальному щиті. Скидання стоків від фільтрів після промивання і часткового відмивання здійснюється в бетонний канал розміром 500х700 мм, скидання в каналізацію – через гідрозатвор. Канал перекритий рифленим залізом, трубопроводи пофарбовані в різні кольори залежно від характеру рідин.

Баки обладнані грязьовими і переливними трубопроводами.

3.8 Приклад розрахунку

Вихідні дані:

1. Витрата води, що підлягає зм'якшенню, м³/год:

- для виробничих потреб – 305;
- для господарсько-питних потреб – 500.

2. Аналіз вихідної води:

- вміст завислих речовин, мг/дм³ – 42;
- окислюваність, мгО₂/дм³ – 5,7;
- вміст Са²⁺, мг/дм³ – 134;
- вміст Mg²⁺, мг/дм³ – 71;
- вміст НСО₃⁻, мг/дм³ – 187;
- вміст Na⁺, мг/дм³ – 21;
- вміст Fe³⁺ - 0,2.

3. Необхідна жорсткість води для виробничих потреб, мг-екв/дм³ – 0,05.

Хід розрахунку:

Загальна жорсткість води

$$Ж_{\text{о}}^{\text{вих}} = \frac{134}{20,04} + \frac{71}{12,16} = 12,53 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Карбонатна жорсткість

$$Ж_{\text{к}} = \frac{187}{61,02} = 3,06 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Некарбонатна жорсткість

$$Ж_{HK} = 12,53 - 3,06 = 9,47 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Відповідно до вихідних даних, слід прийняти двоступінчасту схему зм'якшення води натрій-катионуванням з попереднім освітленням її на механічних освітлювальних фільтрах.

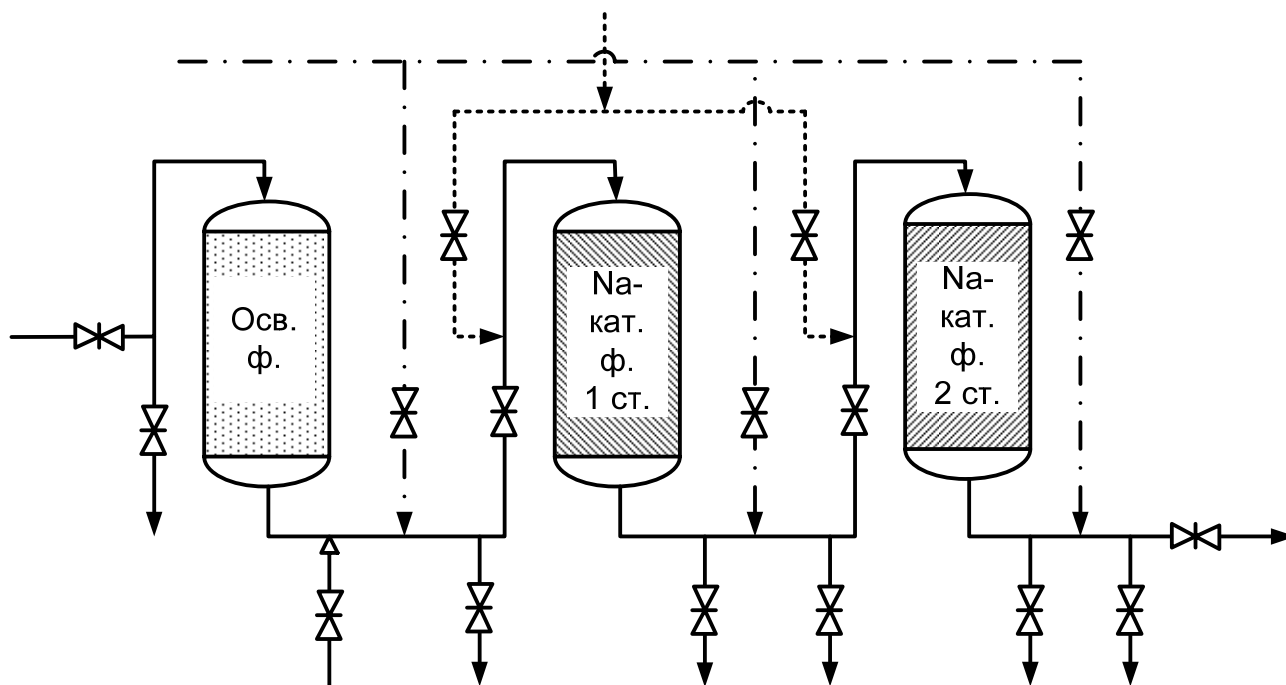





Рис. 3.1 – Схема підготовки води:

-  - оброблювана вода;
 - промивна вода;
 - регенераційний розчин

Прийнята система натрій-катіонування дозволяє одержати зм'якшену воду з необхідною за завданням жорсткістю, крім цього має надійність (виключене проскакування), дає можливість контролю роботи системи і зниження витрати солі для регенерації фільтрів.

Для освітлення води перед зм'якшенням до 3-5 мг/дм³ прийняти механічні освітлювальні двошарові фільтри вертикального типу з завантаженням антрацитом та кварцовим піском крупністю 0,6-1,4 мм, загальною висотою шару завантаження 1000 мм.

Для пом'якшення води приймаємо катіоніт виробництва фірми «Цюйсін» (Кітай) марки 001x7 крупністю 0,4-0,7 мм із повною обмінною ємністю 1750 г-екв/м³.

Подальші розрахунки можна звести у таблиці.

Таблиця 3.1 - Визначення розрахункових витрат

Витрата води, що підлягає зм'якшенню для господарсько-питних цілей	
Матеріальний баланс	$(500 - Q_{\text{пом}}^{\text{Г/п}}) \cdot 12,53 + Q_{\text{пом}}^{\text{Г/п}} \cdot 0,01 = 500 \cdot 7$
$Q_{\text{зміш}}^{\text{Г/п}} \cdot Ж_{\text{вих}} + Q_{\text{пом}}^{\text{Г/п}} \cdot Ж_{\text{пом}} = Q_{\text{Г/п}}^{\text{Г/п}} \cdot Ж_{\text{Г/п}}$	
$Q_{\text{пом}}^{\text{Г/п}}$	220,85 м ³ /год.
$Q_{\text{зміш}}^{\text{Г/п}}$	279,15 м ³ /год.
Витрата води, що підлягає зм'якшенню для виробничих потреб	
Матеріальний баланс	$(305 - Q_{\text{пом}}^{\text{ВП}}) \cdot 12,53 + Q_{\text{пом}}^{\text{ВП}} \cdot 0,01 = 305 \cdot 0,05$
$Q_{\text{зміш}}^{\text{ВП}} \cdot Ж_{\text{вих}} + Q_{\text{пом}}^{\text{ВП}} \cdot Ж_{\text{пом}} = Q_{\text{ВП}}^{\text{ВП}} \cdot Ж_{\text{ВП}}$	
$Q_{\text{пом}}^{\text{ВП}}$	304 м ³ /год.
$Q_{\text{зміш}}^{\text{ВП}}$	1 м ³ /год.
Загальна потужність хімводоочистки	
$Q_{\text{пом}} = Q_{\text{пом}}^{\text{Г/п}} + Q_{\text{пом}}^{\text{ВП}}$	220,85+304=524,85 м ³ /год.
Загальна витрата води, що надходить на освітлювальні фільтри, з урахуванням власних потреб	
$Q_{\text{осв.ф}} = 1,20 \cdot Q_{\text{пом}}$	$Q_{\text{осв.ф}} = 1,20 \cdot 524,85 = 629,82$ м ³ /год.
Загальна витрата води, що надходить на натрій-катіонування, для першого ступеня	
$Q_{\text{кат.ф.І}} = Q_{\text{пом}} \cdot 1,05$	$Q_{\text{кат.ф.І}} = 524,85 \cdot 1,05 = 551,1$ м ³ /год.
Загальна витрата води, що надходить на натрій-катіонування, для другого ступеня	
$Q_{\text{кат.ф.ІІ}}$	524,85 м ³ /год.

Таблиця 3.2 - Розрахунок освітлювальних фільтрів

Загальна площа фільтрування	
$F_{\text{осв.ф}} = \frac{Q_{\text{осв.ф}}}{V_{\text{н}}}$	$F_{\text{осв.ф}} = \frac{629,82}{10} \approx 63 \text{ м}^2$
Витрата води на одне промивання фільтра	
$q_{\text{пр}} = \frac{i \cdot 60 \cdot t \cdot f}{1000}$	$q_{\text{пр}} = \frac{14 \cdot 60 \cdot 20 \cdot 7,07}{1000} = 118,78 \text{ м}^3$
Середня витрата води на власні потреби одного фільтра	
$q_{\text{осв.ф}} = \frac{q_{\text{пр}} \cdot \tau \cdot n}{24}$	$q_{\text{осв.ф}} = \frac{118,78 \cdot 2 \cdot 9}{24} = 89,1 \text{ м}^3/\text{год.}$

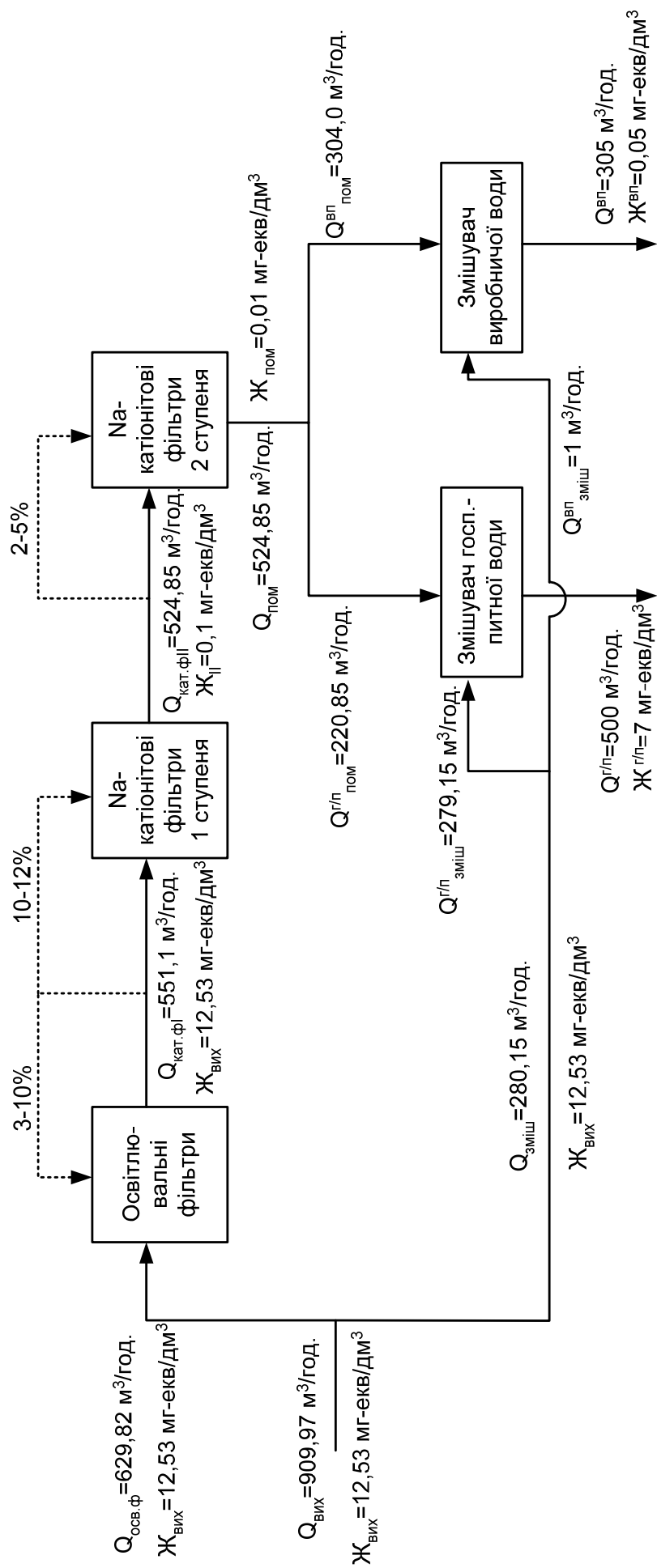


Рис. 3.2 – Балансова схема витрат води

Швидкість фільтрації при нормальному режимі	
$V_H = \frac{Q_{\text{осв.ф}} + q_{\text{осв.ф}}}{f(n-1)} < 5,0$	$V_H = \frac{629,82 + 89,1}{7,07 \cdot (9-1)} = 12,7 \text{ м/год.}$
Швидкість фільтрації при форсованому режимі	
$V_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{осв.ф}} + q_{\text{осв.ф}}}{f(n-2)} < 7,5$	$V_{\text{ф}} = \frac{629,82 + 89,1}{7,07 \cdot (9-2)} = 14,5 \text{ м/год.}$
Перерахунок швидкостей	
$V_H = \frac{629,82 + 98,98}{7,07 \cdot (10-1)} = 11,4 \text{ м/год.}$	$V_{\text{ф}} = \frac{629,82 + 98,98}{7,07 \cdot (10-2)} = 12,9 \text{ м/год.}$

Таблиця 3.3 - Характеристика освітлювальних фільтрів

	Од. вим.	Значення
Діаметр	м	3,0
Площа	м ²	7,07
Кількість	шт.	5
Висота шару завантаження (антрацит / пісок)	м	0,5 / 0,5
Швидкість фільтрування норм. режим / форсов. режим	м/год.	11,4 / 12,9

Розрахунок натрій-катіонітових фільтрів першого ступеня

Таблиця 3.4 - Розрахунок за кількістю регенерацій

Питома витрата солі на регенерацію	Коефіцієнт ефективності регенерації
$q_c = 210 \text{ г/г-екв}$	$\alpha = 0,82$
Коефіцієнт, що враховує зниження обмінної здатності катіоніту по Ca^{2+} і Mg^{2+} за рахунок вмісту Na^+	
$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ж}_O^{\text{вих}}}$	$\left(\frac{21}{23} = 0,91 \right) / 12,53 = 0,073$
β_{Na}	0,86
Робоча обмінна здатність катіоніту	
$E_{\text{роб}}^{\text{катI}} = \alpha \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{повн}}^{\text{кат}} - 0,5 \cdot q_{\text{відм}} \cdot \text{Ж}_O^{\text{ви}}$	$E_{\text{роб}}^{\text{катI}} = 0,82 \cdot 0,86 \cdot 1750 - 0,5 \cdot 4 \cdot 12,53 = 1209 \text{ г-екв/м}^3$
Загальна площа фільтрів	
$F_{\text{кат.ф.I}} = \frac{24 \cdot Q_{\text{кат.ф.I}} \cdot \text{Ж}_O^{\text{вих}}}{n_p \cdot H_{\text{ш}} \cdot E_{\text{роб}}^{\text{катI}}}$	$F_{\text{кат.ф.I}} = \frac{24 \cdot 551,1 \cdot 12,53}{2 \cdot 1,8 \cdot 1209} = 38,1 \text{ м}^2$

Швидкість руху води при нормальному режимі	
$V_H = \frac{Q_{\text{кат.ф.І}}}{f \cdot n} < 10$	$V_H = \frac{551,1}{7,1 \cdot 5} = 15,5 \text{ м/год.}$
Швидкість руху води при форсованому режимі	
$V_\Phi = \frac{Q_{\text{кат.ф.І}}}{f \cdot (n-1)} < 20$	$V_\Phi = \frac{551,1}{7,1 \cdot (5-1)} = 19,4 \text{ м/год.}$
Перерахована кількість регенерацій	
$n_p = \frac{24 \cdot Q_{\text{кат.ф.І}} \cdot Ж_o^{\text{вих}}}{f \cdot H_{\text{ш}} \cdot n \cdot E_{\text{роб}}^{\text{катІ}}}$	$n_p = \frac{24 \cdot 551,1 \cdot 12,53}{7,1 \cdot 1,8 \cdot 5 \cdot 1209} = 2,1$
Розрахункова питома витрата солі на регенерацію	$q_c = 215 \text{ г/г-екв}$

Таблиця 3.5 - Розрахунок за швидкістю руху води

Прийняті швидкості	
$V_H = 10 \text{ м/год.}$	$V_\Phi = 20 \text{ м/год.}$
Загальна площа фільтрів	
$F'_{\text{кат.ф.І}} = \frac{Q_{\text{кат.ф.І}}}{V_H}$	$F'_{\text{кат.ф.І}} = \frac{551,1}{10} = 55,11 \text{ м}^2$
$F''_{\text{кат.ф.І}} = \frac{Q_{\text{кат.ф.І}}}{V_\Phi}$	$F''_{\text{кат.ф.І}} = \frac{551,1}{20} = 27,6 \text{ м}^2$
Кількість регенерацій	
$n'_p = \frac{24 \cdot Q_{\text{кат.ф.І}} \cdot Ж_o^{\text{вих}}}{f \cdot H_{\text{ш}} \cdot n \cdot E_{\text{роб}}^{\text{катІ}}} < 3$	$n'_p = \frac{24 \cdot 551,1 \cdot 12,53}{7,1 \cdot 1,8 \cdot 4 \cdot 1209} = 2,7$

Таблиця 3.6 - Характеристика натрій-катіонітових фільтрів першого ступеня

	Од. вим.	Значення
Діаметр	м	3,0
Площа	м ²	7,1
Кількість	шт.	5
Висота шару завантаження	м	1,8
Швидкість фільтрування норм. режим / форсов. режим	м/год.	15,5 / 19,4
Кількість регенерацій	од./доб.	2

Таблиця 3.7 – Розрахунок процесу регенерації

Витрата солі на одну регенерацію одного фільтра	
$Q_{cI} = \frac{E_{\text{поо}}^{\text{кат}} \cdot f \cdot H_{\text{ш}} \cdot q_c}{1000}$	$Q_{cI} = \frac{1209 \cdot 7,1 \cdot 1,8 \cdot 215}{1000} = 3322 \text{ кг}$
Добова витрата технічної солі (93%) на регенерацію усіх фільтрів	
$Q_{cI}^{\text{заг}} = \frac{Q_{cI} \cdot n_p \cdot n \cdot 100}{93}$	$Q_{cI}^{\text{заг}} = \frac{3322 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 100}{93} = 35720,43 \text{ кг/доб.}$
Витрата води на розпушення завантаження фільтра	
$Q_{\text{розп}} = \frac{i \cdot f \cdot 60 \cdot t_{\text{розп}}}{1000}$	$Q_{\text{розп}} = \frac{3 \cdot 7,1 \cdot 60 \cdot 15}{1000} = 19,17 \text{ м}^3$
Витрата води на приготування розчину солі	
$Q_p = \frac{Q_{cI} \cdot 100}{1000 \cdot p \cdot b}$	$Q_p = \frac{3322 \cdot 100}{1000 \cdot 1,034 \cdot 5} = 64,25 \text{ м}^3$
Витрата води на відмивання катіоніту від продуктів регенерації	
$Q_{\text{відм}} = q_{\text{відм}} \cdot f \cdot H_{\text{ш}}$	$Q_{\text{відм}} = 6 \cdot 7,1 \cdot 1,8 = 76,68 \text{ м}^3$
Загальна витрата води на одну регенерацію без використання відмивної води	
$Q_{\text{рег}} = Q_{\text{розп}} + Q_p + Q_{\text{відм}}$	$Q_{\text{рег}} = 19,17 + 64,25 + 76,68 = 160,1 \text{ м}^3$
Загальна витрата води на одну регенерацію з використанням 50% відмивної води	
$Q'_{\text{рег}} = Q_{\text{розп}} + Q_p + \frac{Q_{\text{відм}}}{2}$	$Q'_{\text{рег}} = 19,17 + 64,25 + \frac{76,68}{2} = 121,76 \text{ м}^3$
Середньогодинна витрата води на власні потреби без урахування відмивної води	
$Q_{\text{власн}} = \frac{Q_{\text{рег}} \cdot n \cdot n_p}{24}$	$Q_{\text{власн}} = \frac{160,1 \cdot 5 \cdot 2}{24} = 66,7 \text{ м}^3/\text{год.}$
Середньогодинна витрата води на власні потреби з урахуванням відмивної води	
$Q'_{\text{власн}} = \frac{Q'_{\text{рег}} \cdot n \cdot n_p}{24}$	$Q'_{\text{власн}} = \frac{121,76 \cdot 5 \cdot 2}{24} = 50,7 \text{ м}^3/\text{год.}$
Час розпушення завантаження фільтра	
$t_{\text{розп}}$	15 хв.
Час пропуску регенераційного розчину	
$t_p = \frac{Q_p \cdot 60}{V_p \cdot f}$	$t_p = \frac{64,25 \cdot 60}{4 \cdot 7,1} = 135,7 \text{ хв.}$

Час відмивання завантаження фільтра від продуктів регенерації	
$t_{\text{відм}} = \frac{Q_{\text{відм}} \cdot 60}{V_{\text{відм}} \cdot f}$	$t_{\text{відм}} = \frac{76,68 \cdot 60}{8 \cdot 7,1} = 81 \text{ хв.}$
Час регенерації кожного фільтра	
$t_{\text{рег}} = t_{\text{розп}} + t_p + t_{\text{відм}}$	$t_{\text{рег}} = 15,0 + 135,7 + 81,0 = 213,7 \text{ хв.}$ $= 3,9 \text{ год.}$
Межрегенерацийний період роботи фільтра	
$T = \frac{24}{n_p} - t_{\text{рег}}$	$T = \frac{24}{2} - 3,9 = 8,1 \text{ год.}$
Кількість одночасних регенерацій фільтрів першого ступеня	
$n_{\text{о.р.}} = \frac{n_p \cdot n \cdot t_{\text{рег}}}{24} < 1$	$n_{\text{о.р.}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 3,9}{24} = 1,6$

Розрахунок натрій-катіонітових фільтрів другого ступеня

Таблиця 3.8

Прийнята швидкість руху води	
V_H	40 м/год.
Площа натрій-катіонітових фільтрів другого ступеня	
$F_{\text{кат.ф.ІІ}} = \frac{Q_{\text{кат.ф.ІІ}}}{V_H}$	$F_{\text{кат.ф.ІІ}} = \frac{524,85}{40} = 13,1 \text{ м}^2$
Розрахункові швидкості руху води	
$V_H = \frac{Q_{\text{кат.ф.ІІ}}}{f \cdot n} < 40$	$V_H = \frac{524,85}{5,3 \cdot 3} = 33 \text{ м/год.}$
$V_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{кат.ф.ІІ}}}{f \cdot (n-1)} < 60$	$V_{\text{ф}} = \frac{524,85}{5,3 \cdot (3-1)} = 49,5 \text{ м/год.}$
Робоча обмінна здатність катіоніту	
$E_{\text{роб}}^{\text{катІІ}} = \alpha \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{повн}}^{\text{кат}} - 0,5 \cdot q_{\text{відм}} \cdot Ж_{\text{ІІ}}$	$E_{\text{роб}}^{\text{катІІ}} = 0,9 \cdot 0,51 \cdot 1750 - 0,5 \cdot 8 \cdot 0,1 = 802,85$ г-екв/м ³
Кількість регенерацій за добу	
$n_p = \frac{24 \cdot Q_{\text{кат.ф.ІІ}} \cdot Ж_{\text{ІІ}}}{f \cdot H_{\text{ш}} \cdot n \cdot E_{\text{роб}}^{\text{катІІ}}}$	$n_p = \frac{24 \cdot 524,85 \cdot 0,1}{5,3 \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot 802,85} \approx 0,1$

Витрата солі на регенерацію фільтрів	
$Q_{\text{сII}} = \frac{E_{\text{роб}}^{\text{катII}} \cdot f \cdot H_{\text{ш}} \cdot q_{\text{с}}}{1000}$	$Q_{\text{сII}} = \frac{802,85 \cdot 5,3 \cdot 1,5 \cdot 300}{1000} = 1914,8 \text{ кг}$
Добова витрата технічної солі (93%) на регенерацію фільтрів другого ступеня	
$Q_{\text{сII}}^{\text{заг}} = \frac{Q_{\text{сII}} \cdot n_{\text{р}} \cdot n \cdot 100}{93}$	$Q_{\text{сII}}^{\text{заг}} = \frac{1914,8 \cdot 0,1 \cdot 3 \cdot 100}{93} = 617,7 \text{ кг/доб.}$
Витрата води на розпушення завантаження фільтра	
$Q_{\text{розп}} = \frac{i \cdot f \cdot 60 \cdot t_{\text{розп}}}{1000}$	$Q_{\text{розп}} = \frac{3 \cdot 5,3 \cdot 60 \cdot 15}{1000} = 14,31 \text{ м}^3$
Витрата води на приготування розчину солі	
$Q_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{сII}} \cdot 100}{1000 \cdot p \cdot b}$	$Q_{\text{р}} = \frac{1914,8 \cdot 100}{1000 \cdot 1,0559 \cdot 8} = 22,7 \text{ м}^3$
Витрата води на відмивання катіоніту від продуктів регенерації	
$Q_{\text{відм}} = q_{\text{відм}} \cdot f \cdot H_{\text{ш}}$	$Q_{\text{відм}} = 8 \cdot 5,3 \cdot 1,5 = 63,6 \text{ м}^3$
Загальна витрата води на одну регенерацію без використання відмивної води	
$Q_{\text{рег}} = Q_{\text{розп}} + Q_{\text{р}} + Q_{\text{відм}}$	$Q_{\text{рег}} = 14,31 + 22,7 + 63,6 = 100,61 \text{ м}^3$
Загальна витрата води на одну регенерацію з використанням 50% відмивної води	
$Q'_{\text{рег}} = Q_{\text{розп}} + Q_{\text{р}} + \frac{Q_{\text{відм}}}{2}$	$Q'_{\text{рег}} = 14,31 + 22,7 + \frac{63,6}{2} = 68,81 \text{ м}^3$
Середньогодинна витрата води на власні потреби без урахування відмивної води	
$Q_{\text{власн}} = \frac{Q_{\text{рег}} \cdot n \cdot n_{\text{р}}}{24}$	$Q_{\text{власн}} = \frac{100,61 \cdot 3 \cdot 0,1}{24} = 1,26 \text{ м}^3/\text{год}$
Середньогодинна витрата води на власні потреби з урахуванням відмивної води	
$Q'_{\text{власн}} = \frac{Q'_{\text{рег}} \cdot n \cdot n_{\text{р}}}{24}$	$Q'_{\text{власн}} = \frac{68,81 \cdot 3 \cdot 0,1}{24} = 0,86 \text{ м}^3/\text{год}$
Час розпушення завантаження фільтра	
$t_{\text{розп}}$	15 хв.
Час пропуску регенераційного розчину	
$t_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{р}} \cdot 60}{V_{\text{р}} \cdot f}$	$t_{\text{р}} = \frac{22,7 \cdot 60}{5 \cdot 5,3} = 51,4 \text{ хв.}$
Час відмивання завантаження фільтра від продуктів регенерації	
$t_{\text{відм}} = \frac{Q_{\text{відм}} \cdot 60}{V_{\text{відм}} \cdot f}$	$t_{\text{відм}} = \frac{63,6 \cdot 60}{8 \cdot 5,3} = 90 \text{ хв.}$

Час регенерації кожного фільтра	
$t_{\text{рег}} = t_{\text{розп}} + t_p + t_{\text{відм}}$	$t_{\text{рег}} = 15 + 51,4 + 90 = 156,4 \text{ хв.} = 2,6 \text{ год.}$
Межрегенерацийний період роботи фільтра	
$T = \frac{24}{n_p} - t_{\text{рег}}$	$T = \frac{24}{0,1} - 2,6 = 237,4 \text{ год.}$

Таблиця 3.9 - Характеристика натрій-катіонітових фільтрів другого ступеня

	Од. вим.	Значення
Діаметр	м	2,6
Площа	м ²	5,3
Кількість	шт.	3
Висота шару завантаження	м	1,5
Швидкість фільтрування норм. режим / форсов. режим	м/год.	33,0 / 49,5
Кількість регенерацій	од./доб.	0,1

Таблиця 3.10 – Характеристика процесів регенерації натрій-катіонітових фільтрів

	Од. вим.	1 ступінь	2 ступінь
Витрата солі на одну регенерацію одного фільтра	г/г-екв.	215	300
Добова витрата технічної солі на регенерацію фільтрів	кг/доб.	35720,43	617,7
Витрата води на розпушення завантаження фільтра	м ³	19,17	14,31
Витрата води на приготування розчину солі	м ³	64,25	22,7
Витрата води на відмивання катіоніту від продуктів регенерації	м ³	76,68	63,6
Загальна витрата води на одну регенерацію без використання відмивної води	м ³	160,1	100,61
Загальна витрата води на одну регенерацію з використанням 50% відмивної води	м ³	121,76	68,81
Середньогодинна витрата води на власні потреби без урахування відмивної води	м ³ /год	66,7	1,26
Середньогодинна витрата води на власні потреби з урахуванням відмивної води	м ³ /год	50,7	0,86
Межрегенерацийний період роботи фільтра	год.	8,1	237,4

Додаткове устаткування

Склади для зберігання солі

Необхідний об'єм складу солі

$$\Sigma Q_c = 35720,43 + 617,7 = 36338,13 \text{ кг},$$

$$W = \frac{1,5 \cdot 36338,13 \cdot (30 + 10)}{1000} = 2180,3 \text{ м}^3.$$

Приймаємо 3 резервуари глибиною 4,8 м та розмірами в плані 12 х 18 м кожний.

Ємкість мірника

$$W_M = \frac{36338,13 \cdot 100}{1000 \cdot 26 \cdot 1,1972 \cdot 2} = 58,37 \text{ м}^3.$$

Приймаємо 3 бака-мірника діаметром 3 м, робочою висотою 2,8 м і загальною висотою 3 м.

Витрата розчину солі на солерозчинник дорівнює:

$$W_{\text{сол}} = \frac{58,37}{6} = 9,7 \text{ м}^3.$$

Площа солерозчинника

$$f_{\text{сол}} = \frac{9,7}{5} = 1,94 \text{ м}^2.$$

Приймаємо 3 стандартних солерозчинника діаметром 1020 мм.

Склад для зберігання фільтруючих матеріалів для освітлювальних фільтрів

Робочий об'єм освітлювальних фільтрів дорівнює:

шар антрациту

$$V_{\text{осв.ф}}^a = 7,07 \cdot 0,5 \cdot 10 = 35,35 \text{ м}^3;$$

шар піску

$$V_{\text{осв.ф}}^a = 7,07 \cdot 0,5 \cdot 10 = 35,35 \text{ м}^3.$$

Необхідна щорічна добавка фільтруючих матеріалів

$$V_{\text{осв.ф}}^{\text{доб}} = (35,35 + 35,35) \cdot 0,1 = 7,07 \text{ м}^3.$$

Необхідна площа складу при висоті завантаження 1 м дорівнює 7 м².

Склад для зберігання катіоніту

Річний запас

$$V_{\text{зап}} = (7,1 \cdot 5 \cdot 1,8 + 5,3 \cdot 3 \cdot 1,5) \cdot 0,2 = 17,55 \text{ м}^3.$$

Площа складу при висоті завантаження 1,5 м дорівнює 12 м².

Загальна площа складу – 20 м².

Запасні резервуари для вихідної води.

Необхідна ємкість резервуарів

$$W_{\text{рез}} = 524,85 \cdot 6 = 3149,1 \text{ м}^3.$$

Приймаємо 2 стандартних залізобетонних резервуарів ємкістю 2000 м³ кожен діаметром 24 і глибиною 4,8 м.

Устаткування для розпушуючого промивання

Загальний об'єм баків

$$V_{\text{общ}}^{\text{розп}} = \frac{1}{2} \cdot (1,3 \cdot 19,17 + 1,3 \cdot 14,31) = 21,8 \text{ м}^3.$$

Приймаємо 2 баки діаметром 3 м та висотою 3 м кожний. Резервуари – металеві, пофарбовані антикорозійною фарбою і покриті ізоляцією.

Устаткування для промивання

Необхідна витрата води для промивання освітлювальних фільтрів

$$Q_{\text{осв.ф}}^{\text{пром.}} = \frac{14 \cdot 7,07 \cdot 3600}{1000} = 356,3 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Насос завантажений у добу

$$T_{\text{осв.ф}} = \frac{20 \cdot 2 \cdot 10}{60} = 6,7 \text{ год.}$$

Необхідна витрата води для промивання натрій-катіонітових фільтрів 1-го ступеня

$$Q_{\text{кат.І}}^{\text{пром.}} = \frac{3 \cdot 7,1 \cdot 3600}{1000} = 76,68 \text{ м}^3/\text{год.}$$

З врахуванням збігу промивань

$$Q_{\text{кат.І}}^{\text{пром.}} = 76,68 \cdot 1,6 = 122,7 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Загальна кількість промивань натрій-катіонітових фільтрів

$$n_{\text{пр}} = 2 \cdot 5 + 1 = 11.$$

Час роботи насоса в добу

$$T_{\text{кат.}} = \frac{15 \cdot 11}{60} = 2,75, \text{ год.};$$

без фільтра другого ступеня

$$T_{\text{кат.}} = \frac{15 \cdot (11 - 1)}{60} = 2,5 \text{ год.}$$

Устаткування для регенерації натрій-катіонітових фільтрів

Витрата розчину на регенерацію

$$Q_{\text{кат.І}}^{\text{рег.}} = 4 \cdot 7,1 = 28,4 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Витрата 2%-ного розчину:

$$Q_{2\%} = 7,1 \cdot 1,8 \cdot 1,2 = 15,3 \text{ м}^3,$$

що складає по солі

$$M_{2\%} = \frac{15,3 \cdot 1000 \cdot 2 \cdot 1,0125}{100} \approx 310 \text{ кг.}$$

Витрата 8%-ного розчину:

$$Q_{8\%} = \frac{(3322 - 400) \cdot 100}{8 \cdot 1,0559 \cdot 1000} = 35,7 \text{ м}^3.$$

Відмивання натрій-катіонітових фільтрів

Ємкість дренажного бака

$$W_{\text{дрен}} = 38,34 + 63,6 = 101,94 \text{ м}^3.$$

Приймаємо дренажний бак діаметром 4,5 м і загальною висотою 4 м.

Знешкодження стічних вод від натрій-катіонітових хімводоочисток

Витрата соди дорівнює

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{(134 + 71) \cdot 524,85 \cdot 1,1 \cdot 24}{1000} \approx 2840 \text{ кг/доб.}$$

Витрата вапна в добу

$$B = \frac{71 \cdot 524,85 \cdot 1 \cdot 24}{1000} \approx 895 \text{ кг/доб.}$$

Вибираємо 2 відстійники діаметром кожен:

$$D = \sqrt{1,5 \frac{(64,25 \cdot 2 \cdot 5)/24}{0,003 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 3600}} \approx 1,5 \text{ м.}$$

Необхідний напір приймаємо відповідно до норм 15 метрів.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

ЗМ 1.1. ЗМ'ЯКШЕННЯ. ІОННИЙ ОБМІН. ДЕЗОДОРАЦІЯ. ФТОРУВАННЯ. ДЕФТОРУВАННЯ

ТЕМА 1. Зм'якшення води

Контрольні запитання:

1. З якою метою здійснюють зм'якшення води?
2. Які види жорсткості вам відомі?
3. Які є способи зм'якшення води?
4. Що впливає на вибір способу зм'якшення води?
5. Як здійснюється термічний, термохімічний та іонообмінний способи зм'якшення води?
6. У чому полягає суть термічного способу зм'якшення води?
7. Запишіть та поясніть рівняння вуглекислотної рівноваги.
8. Які апарати використовують для термічного зм'якшення води?
9. Поясніть схему каскадного підігрівача.
10. Поясніть схему термозм'якшувача системи Коп'єва.
11. У чому полягає суть реагентних способів зм'якшення води?
12. Які процеси протікають при вапняковому зм'якшенні води?
13. Які особливості вапнякового зм'якшення води?
14. Які процеси протікають при вапняково-содовому зм'якшенні води?
15. Які процеси протікають при содово-натрієвому зм'якшенні води?
16. Які особливості содово-натрієвого зм'якшення води?
17. Які процеси протікають при фосфатному зм'якшенні води?
18. Які процеси протікають при барієвому зм'якшенні води?
19. Реагентне зм'якшення води із застосуванням вихрових реакторів.
20. У чому полягає суть термохімічного зм'якшення води?
21. Поясніть схему термохімічної установки з фосфатним дозм'якшенням.
22. Термохімічне зм'якшення води в установках типа «Струя».
23. Регенерація вапна з осаду водозм'якшувальних установок.

ТЕМА 2. Застосування іонного обміну для очистки води

Контрольні запитання:

1. У чому полягає суть іонообмінного способу очищення води?
2. Які основні галузі застосування іонообмінних процесів у технології водопідготовки?
3. Принцип дії катіонітів.
4. Принцип дії аніонітів.
5. Сформулюйте визначення повної, статичної і динамічної обмінної ємкості іонітів. Чим вони різняться?
6. Як класифікують іоніти?
7. Які основні властивості іонітів?
8. Чим відрізняються природні мінеральні іоніти від неорганічних та синтетичних полімерних?

9. Як здійснюється процес регенерації іонітів?
10. Які є способи регенерації іонітів?
11. Які реагенти використовуються як регенераційні розчини для іонітів?
12. Як запобігти виникненню протийонному ефекту при регенерації іонітів?
13. Які особливості регенерації Н-катионітів сірчаною кислотою при зм'якшенні води?
14. Поясніть принцип дії іонітових фільтрів і фільтрів змішаної дії.
15. Як здійснюється іонообмінне зм'якшення води?
16. Як здійснюється іонообмінне знезалізнення води?
17. Як здійснюється іонообмінне знесолення води?

ТЕМА 3. Дезодорація води (усунення запахів, присмаків і токсичних мікрозабруднень води)

Контрольні запитання:

1. Назвіть джерела виникнення запахів і присмаків природних вод.
2. Дайте визначення процесу дезодорації води. В яких випадках його застосовують?
3. Які є способи дезодорації води?
4. У чому полягає суть процесів дезодорації води аерацією?
5. Поясніть схему і принцип роботи барботажного аератора.
6. Як працюють аератори розбризкувального і каскадного типів?
7. У чому полягає суть процесів дезодорації води із застосуванням окислювачів?
8. Які окислювачі застосовують для дезодорації води?
9. Які умови для застосування різних окислювачів для дезодорації води?
10. Які переваги й недоліки має застосування озону для дезодорації води?
11. Які переваги й недоліки має застосування перманганату калію для дезодорації води?
12. Які особливості має застосування хлору для дезодорації води?
13. Що таке перехлорування води?
14. Як здійснюється хлорування з амонізацією?
15. Поясніть сутність електрохімічної дезодорації.
16. Як здійснюється дезодорація води активованим вугіллям?
17. Технологічні особливості вуглювання води.
18. Для чого і як проводиться регенерація активованого вугілля?
19. У чому полягає суть окисно-сорбційної дезодорації води?
20. Які переваги має окисно-сорбційна дезодорація води порівняно з іншими способами?
21. Які застосовують методи для видалення з води отрутохімікатів?

ТЕМА 4. Фторування води

Контрольні запитання:

1. Для чого проводять корекцію вмісту фтору в питній воді?

2. Які групи питної води за вмістом в ній фторид-іонів розрізняє класифікація проф. Р.Д. Габовича?
3. Як здійснюють фторування води?
4. Які реагенти використовують для фторування води?
5. Як визначити дозу фторвміщуючого реагенту?
6. Поясніть схему роботи фторувальної установки сатураторного типу.
7. Поясніть схему роботи фторувальної установки з баками для розчинення з механічним перемішуванням.
8. Поясніть схему роботи фторувальної установки з баками для розчинення з барботуванням.
9. Поясніть схему роботи фторувальної установки з баками для розчинення та затворення.
10. Поясніть схему роботи фторувальної установки із використанням кремнефтористоводневої кислоти.
11. Поясніть схему роботи фторувальної установки сухого дозування.
12. Яка точність дозування фторвміщуючого реагенту? Як здійснюється контроль процесу фторування?

ТЕМА 5. Дефторування води

Контрольні запитання:

1. Для чого проводять корекцію вмісту фтору в питній воді?
2. Який оптимальний вміст фтору в питній воді за медичними дослідженнями та рекомендаціями ДержСанПіН?
3. Як знефторюють питну воду?
4. Охарактеризуйте сорбційні методи дефторування води.
5. Поясніть технологічну схему дефторування води з використанням гідроксиду магнію.
6. Поясніть технологічну схему дефторування води з використанням гідроксиду алюмінію.
7. Поясніть технологічну схему дефторування води з використанням фосфату кальцію.
8. Охарактеризуйте фільтраційні методи дефторування води.
9. Поясніть технологічну схему дефторування води з використанням активованого оксиду алюмінію.
10. Які матеріали використовують для фільтраційного дефторування води?

ЗМ 1.2. ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ. ОПРІСНЕННЯ І ЗНЕСОЛЕННЯ

ТЕМА 1. Знезалізнення води

Контрольні запитання:

1. З якою метою знезалізнюють питну воду?
2. Які є способи знезалізнення води і в чому їх суть?
3. Охарактеризуйте безреагентні методи знезалізнення води.

4. Суть знезалізнєння води методом спрощеної аерації.
5. Суть знезалізнєння води методом глибокої аерації.
6. Суть знезалізнєння води методом «сухої» фільтрації.
7. Схема знезалізнєння води з використанням каркасних фільтрів.
8. Схема знезалізнєння підземних вод у пласті.
9. Схема знезалізнєння води фільтрування в підземних умовах з попередньою подачею у пласт окислюваної води («Віредокс»).
10. Суть знезалізнєння води методом аерації і двоступеневого фільтрування.
11. Суть знезалізнєння води методом електрокоагуляції.
12. Схарактеризуйте реагентні методи знезалізнєння води.
13. Які процеси відбуваються при реагентному знезалізнєнні води?
14. Які реагенти застосовують при реагентному знезалізнєнні води?
15. Суть знезалізнєння води методом спрощеної аерації, окислювання та фільтрування.
16. Суть знезалізнєння води методом напірної флотації з вапнуванням і фільтруванням.
17. Суть знезалізнєння води методом вапнування, відстоювання і фільтрування.
18. Суть знезалізнєння води методом фільтрування крізь модифіковане завантаження.
19. Суть знезалізнєння води методом озонування і фільтрування.
20. Суть знезалізнєння води комбінованим методом.
21. Як може бути здійснена деманганізація води?

ТЕМА 2. Опріснення і знесолєння води

Контрольні запитання:

1. Сутність процесів опріснення і знесолєння води.
2. У чому різниця термінів «опріснення» і «знесолєння»?
3. Охарактеризуйте методи знесолєння води без зміни її фазового стану.
4. Охарактеризуйте методи знесолєння води, що реалізуються зі зміною її фазового стану.
5. Сутність опріснення води дистиляцією.
6. Принципова схема однокорпусної дистиляційної установки.
7. Принципова схема багатокорпусної дистиляційної установки.
8. Дистиляційна установка з термокомпресором.
9. Схема адіабатного випарника.
10. Геліоопріснення.
11. Методи запобігання утворенню накипу на поверхні нагрівання теплообмінної апаратури опріснювальних установок.
12. Використання гідрофобних теплоносіїв легше за воду.
13. Використання гідрофобних теплоносіїв важче за воду.
14. Сутність опріснення води виморожуванням.
15. Застосування природного холоду для опріснення води.
16. Використання холодильних установок для опріснення води.
17. Опріснення води виморожуванням у вакуумі.

- 18.Опріснення води із застосуванням гідрофобних холодоагентів.
- 19.Газгідратний метод опріснення води.
- 20.У чому сутність екстракційного очищення води?
- 21.З яких технологічних операцій складається технологія екстракційної водопідготовки?
- 22.У чому полягає суть електродіалізу?
- 23.Охарактеризуйте фізико-хімічні властивості іонообмінних мембран?
- 24.Поясніть схему електродіалізного апарату.
- 25.Сутність процесу знесолення води зворотним осмосом.
- 26.Характеристика зворотньоосмотичних мембран.
- 27.Поясніть схему апарату з використанням листових мембран з плоским фільтруючим елементом.
- 28.Поясніть схему апарату з використанням листових мембран з рулонним фільтруючим елементом.
- 29.Поясніть схему апаратів з використанням трубчастих мембран.
- 30.Поясніть схему апарату з використанням мембран у вигляді порожнистого волокна.

ЗМ 1.3. ДЕГАЗАЦІЯ. ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ОБРОБКА. СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ

ТЕМА 1. Дегазація води

Контрольні запитання:

1. Як можна видалити із води розчинені гази?
2. Залежно від яких параметрів і як змінюється розчинність газів у воді?
3. У чому полягає суть фізичних і хімічних способів дегазації води?
4. Які є фізичні способи дегазації води і в чому полягає їх суть?
5. Поясніть схему та принцип роботи плівкового дегазатору.
6. Поясніть схему та принцип роботи барботувального дегазатору.
7. Поясніть схему та принцип роботи дегазатору пінного типу.
8. Поясніть схему та принцип роботи термічного дегазатору.
9. Поясніть схему та принцип роботи вакуумного дегазатору.
- 10.Поясніть схему та принцип роботи вакуумного дегазатору з підігріванням.
- 11.Які є хімічні способи дегазації води і в чому полягає їх суть?
- 12.Які реагенти застосовують для видалення залишкового кисню?
- 13.Які реагенти застосовують для видалення сірководню?

ТЕМА 2. Електрохімічна обробка води

Контрольні запитання:

1. Назвіть можливі галузі використання електрохімічних процесів і технологій очищення води.
2. Які елементи включає система, в якій здійснюється електроліз?

3. Принципова схема електролітичної ванни.
4. Основні електрохімічні процеси, які здійснюються на катодах.
5. Основні електрохімічні процеси, які здійснюються на анодах.
6. Класифікація методів електрохімічного очищення води.
7. Застосування електрокоагуляції для очищення води.
8. Апаратурне оформлення процесів електрокоагуляції.
9. Поясніть схему електроореактора з «газовим» шаром.
10. Поясніть схему стружечного електрокоагулятора.
11. Поясніть схему електрофлотатора з горизонтальними електродами.
12. Поясніть схему двокамерних електрофлотокоагуляційних установок.

ТЕМА 3. Радіаційне очищення води

Контрольні запитання:

1. Опишіть основні принципи і умови проведення процесів радіаційного очищення і знезараження води.
2. Охарактеризуйте іонізуючі випромінювання.
3. Як діють іонізуючі випромінювання на забруднену воду?
4. Які бувають ефекти опромінення водних розчинів неорганічних та органічних речовин?
5. Назвіть основні можливі напрями використання радіаційної обробки води?
6. Поясніть принципову схему гамма-установки для очищення води.
7. Поясніть принципову схему установки з прискорювачами електронів для очищення води.

ТЕМА 4. Очищення води від радіоактивних елементів

Контрольні запитання:

1. Джерела радіаційного забруднення води.
2. Як очищають воду від радіоактивних забруднень?
3. Застосування відстоювання для видалення радіоактивних речовин.
4. Застосування фізико-хімічних методів для видалення радіоактивних речовин.
5. Особливості застосування коагулювання для видалення радіоактивних речовин.
6. Особливості застосування фільтрування для видалення радіоактивних речовин.
7. Особливості застосування сорбентів для видалення радіоактивних речовин.
8. Застосування електролітичних методів.

РЕКОМЕНДОВАНИЙ СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною". – Затверджено МОЗ України 12.05.2010. – К., 2010.
2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5 - 74:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 287 с.
3. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 210 с.
4. СНиП II-35-76 (с учетом действующих изменений и дополнений). Котельные установки. Часть II. Нормы проектирования. Глава 35. Котельные установки. – К. : Державне підприємство "Укрархбудінформ", 2006. – 49 с.
5. Кострикин Ю. М. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления : Справочник / Ю. М. Кострикин, Н. А. Мещерский, О. В. Коровина. – М. : Энергоиздат, 1990. – 254 с.
6. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – К. : Вища школа, 2005. – 671 с.
7. Кульский Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – К. : Вища школа, 1986. – 352 с.
8. Фрог Б. Н. Водоподготовка / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. – М. : Изд-во МГУ, 1996. – 680 с.
9. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко та ін. – К. : Лібра, 2000. – 552 с.
10. Когановский А. М. Адсорбция органических веществ из воды / А. М. Когановский, Н. А. Клименко и др. – Л. : Химия, 1990. – 256 с.
11. Яковлев С. В. Технология электрохимической очистки воды / С. В. Яковлев, И. Г. Краснобородько. – Л. : Стройиздат, 1987. – 312 с.
12. Громогласов А. А. Водоподготовка: процессы и аппараты / А. А. Громогласов, А. С. Копылов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
13. Джагацпаян Р. В. Технология радиационной очистки сточных вод / Р. В. Джагацпаян, В. А. Гольдин и др. – М. : Энергоиздат, 1981. – 43 с.
14. Шубин В. Н. Радиационное обеззараживание сточных и природных вод / В. Н. Шубин, Ю. И. Шаранин и др. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 64 с.
15. Горев Л. Н. Радиоактивность природных вод: Навч. посібник / Л. Н. Горев. – К. : Вища школа, 1993. – 174 с.
16. Коростелев Д. П. Обработка радиоактивных вод и газов на АЭС / Д. П. Коростелев - М. : Энергоатомиздат, 1988. – 152 с.
17. Кульский Л. А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: В 2-х ч. / Л. А. Кульский, И. Т. Гороновский, А. М. Когановский, М. А. Шевченко – К. : Наукова думка, 1980. – Ч. 1-2.
18. Цифровий репозиторій ХНУМГ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://eprints.kname.edu.ua>.
19. Центр дистанційного навчання ХНУМГ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://cdo.kname.edu.ua>.

ТЕХНІЧНІ ПОКАЗНИКИ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ

	Показники	Тип фільтра	
		із завантаженням антрацитом	з двошаровим завантаженням кварцовим піском і антрацитом
1.	Діаметр зерен завантажувального матеріалу, мм: антрацит кварцовий пісок	0,6 – 1,4	0,7 – 1,7 0,5 – 1,2
2.	Висота фільтруючого шару, м: антрацит кварцовий пісок	1,0	0,5 – 0,6 0,5 – 0,6
3.	Насипна маса фільтруючого матеріалу, т/м ³ : антрацит кварцовий пісок	0,8	0,8 1,6
4.	Швидкість фільтрування, м/год: нормальний режим форсований режим	5,0 (10) 7,5 (12)	10,0 12,0
5.	Інтенсивність розпушуючого промивання водою, л/с·м ²	10,0 – 12,0	13,0 – 15,0
6.	Тривалість розпушуючого промивання водою, хв.	20,0	20,0
7.	Послідовність розпушуючого промивання з повітрям: а) спільне водоповітряне промивання тривалість, хв. інтенсивність подачі води, л/с·м ² інтенсивність подачі повітря, л/с·м ² б) промивання водою тривалість, хв. (до прозорості 20 см за шрифтом) інтенсивність подачі води, л/с·м ²	2,0 – 3,0 6,0 20,0 12,0 15,0 – 20,0	- - - - -
8.	Тиск повітря, МПа	0,3 – 0,4	-

Примітки: 1. У дужках наведені значення швидкості фільтрування при установленні освітлювальних фільтрів після освітлювачів.
2. Більшим значенням відповідає менша тривалість розпушуючого промивання.

Додаток 2

КОНСТРУКТИВНІ Й ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ МЕХАНІЧНИХ ФІЛЬТРІВ

<i>Марка</i>	<i>Діаметр, м</i>	<i>Площа, м²</i>	<i>Об'єм, м³</i>	<i>Висота загальна, м</i>	<i>Висота заванта- ження, м</i>	<i>Об'єм заванта- ження, м³</i>	<i>Маса металу, т</i>	<i>Маса наванта- ження, т</i>
ФОВ-1 – 0,6	1	0,78	1,75	2,124	1	0,8	0,78	4,0
ФОВ-1,4 – 0,6	1,4	1,54	2,26	2,985	1	1,6	1,26	7,0
ФОВ-1,5 – 0,6	1,5	1,78	-	3,2	1	1,8	1,6	8,0
ФОВ-2 – 0,6	2	3,14	7,6	3,63	1	3,14	2,0	15,0
ФОВ-2,5 – 0,6	2,5	4,9	11,0	3,5	1	4,0	3,0	25,0
ФОВ-2,6 – 0,6	2,6	5,3	13,6	3,93	1	5,3	3,37	28,0
ФОВ-3 – 0,6	3	7,07	22	4,315	1	7,07	4,44	37,0
ФОВ-3,4 – 0,6	3,4	9,1	36	4,465	1	9,1	5,66	50,0

Додаток 3

КОЕФІЦІЄНТ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГЕНЕРАЦІЇ КАТІОНІТУ

<i>Питома витрата солі на регенерацію катіоніту, г/г-екв обмінної ємкості</i>	110	110	120	130	140	150	160	170	180
<i>α</i>	0,62	0,64	0,67	0,69	0,72	0,74	0,75	0,77	0,78
<i>Питома витрата солі на регенерацію катіоніту, г/г-екв обмінної ємкості</i>	190	200	210	220	230	240	250	260	270
<i>α</i>	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,87	0,87	0,88
<i>Питома витрата солі на регенерацію катіоніту, г/г-екв обмінної ємкості</i>	280	290	300	310	320	330	340	350	360
<i>α</i>	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,95

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕЯКИХ КАТІОНІТІВ

Показатель	LANXESS / BAYER AG			Dow Chemical Company / ROHM & HAAS		PUROLITE	Dow Chemical Company	ОАО «Полифлок»		LANXESS	POLYON	Цюйсин				
	Леватит S100 Mono Plus	Леватит S1428	Леватит SP-112	Амберлайт IR 120	Амберджет 1200Na	Пьюролайт C100	Даякс HRC-S(Na)	КУ-1	КУ 2-8	IONAC/C 249	POLYON DC 120S	001x7	001x7MB	001x8	D001FC	D001MD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	41	15	16
Розмір зерен, мм	0,3- 1,25	0,4- 1,25	0,3- 0,125	0,3-1,2	0,315- 1,25	0,3- 1,2	1,2-0,3	0,4- 2,0	0,315- 1,25	0,4- 1,00	0,55- 0,65	0,4-0,7	0,71- 0,9	0,315- 1,25	>0,5	0,65- 0,9
Коефіцієнт одно- рідності, не більше	1,8	1,6	1,8	1,8	1,2	1,6	1,6	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,4	1,6	1,6	1,4
Масова доля вологи, %	44-48	45-48	40-45	44-48	44-48	44-47	44-48	45-55	50-60	49-54	45-50	51-56	45-50	43-48	45-55	45-55
Істинна щільність після набрякання, г/см ³	1,28	1,29	1,27	1,25- 1,3	1,25- 1,3	1,29	1,25-1,3	1,10- 1,21	1,16- 1,23	1,15- 1,25	1,15- 1,25	1,17- 1,22	1,25- 1,29	1,25- 1,3	1,25- 1,28	1,25- 1,28
Повна обмінна ємкість, не менше ммоль/м ³ (мг-екв/м ³)	2100	2000	1700	1700	1750	2700	1700	1350	1800	1900	1950	1750	1700	2000	1800	1750
Насипна маса товар- ного катіоніту, г/дм ³	800- 900		720- 820	850	850	850	840	650- 740	750- 800	725- 810	770- 870	730- 830	770- 870	780- 880	760- 820	760- 820
Розширення шару при розпушенні зі швидкістю 10 м/год. при 20 ⁰ С, %	60	40	60	27	40	40	45	40	40	40	40	40-60				

ТЕХНІЧНІ ПОКАЗНИКИ НАТРІЙ-КАТІОНІТОВИХ ФІЛЬТРІВ

	Показники	Фільтр I ступеня	Фільтр II ступеня
1.	Висота шару катіоніту, м	1,8 – 2,5	1,5
2.	Крупність зерен катіоніту, мм	0,5 – 1,1	0,5 – 1,1
3.	Швидкість фільтрування, м/год, при нормальному режимі і максимальна (при регенерації одного з фільтрів)*, при жорсткості, мг-екв/дм ³ :		
	до 5	25 (35)	40 (60)
	5-10	15 (25)	-
	10-15	10 (20)	-
4.	Втрати напору на фільтрах, м, (у дужках – при завантаженні дрібного катіоніту з крупністю зерен 0,3-0,8 мм) при швидкості фільтрування, м/год:		
	10	5 (6)	-
	20	5 (7)	-
	30	6 (9)	-
	40	7 (11)	13
	60	9 (14)	14
5.	Розпушуюче промивання катіоніту:		
	інтенсивність **, л/с·м ²	4 (3)	4 (3)
	тривалість ***, хв.	30 (15)	30 (15)
6.	Питома витрата повареної солі на регенерацію сульфовугля, г/г-екв, при двоступінчастому натрій-катіонуванні і $J_{O}^{вих}$, мг-екв/дм ³ :		
	до 5	100 – 120	300 – 400
	5-10	120 – 200	-
	10-15	170 – 250	-
	15-20	200 – 300	-
7.	Концентрація регенераційного розчину, %	5 – 8	8 – 12
8.	Швидкість пропуску регенераційного розчину, м/год	3 – 4	3 – 5
9.	Робоча обмінна ємкість сульфовугля ****, г-екв/м ³	за розрахунком	250 – 300

	<i>Показники</i>	<i>Фільтр I ступеня</i>	<i>Фільтр II ступеня</i>
10.	Відмивання катіоніту від продуктів регенерації: швидкість пропуску відмивної води через катіоніт, м/год	6 – 8	6 – 8
	питома витрата відмивної води, м ³ /м ³	6	8
11.	Загальна тривалість регенерації фільтра****, год.	2,0 – 4,5	2,5 – 5,0

* - швидкість фільтрування менше 5 м/год не рекомендується через можливе зниження обмінної ємності катіоніту;

** - у дужках – при завантаженні дрібного катіоніту з крупністю зерен 0,3-0,8 мм;

*** - тривалість промивання, що розпушує, слід приймати 15 хв. у системах без вапнування і при використанні іонообмінних матеріалів з високою механічною міцністю;

**** - визначається розрахунком, у таблиці наведені орієнтовні дані.

Примітка: 1. Загальна питома витрата води на регенерацію фільтрів не показана у зв'язку з її великими коливаннями залежно від якості вихідної води, питомої витрати солі, марки завантаженого катіоніту.

2. Деякі технічні показники можна приймати за характеристиками виробника іоніту.

Додаток 6

КОЕФІЦІЄНТ ЗНИЖЕННЯ ОБМІННОЇ ЗДАТНОСТІ КАТІОНІТУ

$\frac{Na^+}{Ж_o^{вих}}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
β_{Na}	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84
$\frac{Na^+}{Ж_o^{вих}}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
β_{Na}	0,83	0,80	0,77	0,73	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66
$\frac{Na^+}{Ж_o^{вих}}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
β_{Na}	0,65	0,62	0,60	0,57	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51

Додаток 7

КОНСТРУКТИВНІ Й ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ІОНІТОВИХ ФІЛЬТРІВ

Марка	Діаметр, м	Площа, м ²	Висота		Об'єм, м ³		Маса, т	
			загальна, мм	шару іоніта, м	загальний	іоніта	металу	навантажен ня
Фільтри іонітні I ступеня								
ФИПА I-0,7-0,6-Na	700	0,38	3000	2	1,1	0,8	0,57	3
ФИПА I-1,0-0,6-Na	1000	0,78	3124	2	2,3	1,6	1,03	5
ФИПА I-1,4-0,6-Na	1400	1,54	3600	2	4,5	3,42	1,4	13
ФИПА I-2,0-0,6	2000	3,14	4000	1,8	11,7	5,7	2,9	15
ФИПА I-2,6-0,6	2600	5,3	4300	1,8	20	9,6	4,6	27
ФИПА I-3,0-0,6	3000	7,1	4450	1,8	29	12,6	5,5	41
ФИПА I-3,4-0,6	3400	9,1	4600	1,8	39	16,3	7,4	47
Фільтри іонітні II ступеня								
ФИПА II-1,0-0,6Na	1000	0,78	2724	1,5	1,87	1,2	0,91	3,5
ФИПА II-1,4-0,6Na	1500	1,78	2985	1,5	3,58	2,66	1,31	7
ФИПА II-2,0-0,6	2000	3,14	3235	1,5	7,6	3,8	2,51	13,1
ФИПА II-2,6-0,6	2600	5,3	3501	1,5	13,6	6,9	4,2	20
ФИПА II-3,0-0,6	3000	7,1	3775	1,5	17,0	9,4	5,6	30

Додаток 8

ЩІЛЬНІСТЬ РОЗЧИНІВ КУХОННОЇ СОЛІ ПРИ 20°C

<i>Концентрація розчину, b, %</i>	<i>Щільність розчину, p, г/мл</i>	<i>Концентрація розчину, b, %</i>	<i>Щільність розчину, p, г/мл</i>	<i>Концентрація розчину, b, %</i>	<i>Щільність розчину, p, г/мл</i>
1	1,0053	7	1,0486	16	1,1162
2	1,0125	8	1,0559	18	1,1319
3	1,0196	9	1,0633	20	1,1478
4	1,0268	10	1,0707	22	1,1639
5	1,0340	12	1,0857	24	1,1804
6	1,0413	14	1,1009	26	1,1972

Додаток 9

РОЗМІРИ РЕЗЕРВУАРІВ ІЗ ЗБІРНОГО ЗАЛІЗОБЕТОНУ

<i>Ємкість, м³</i>	<i>Круглі резервуари</i>		<i>Прямокутні резервуари</i>		
	<i>Діаметр, м</i>	<i>Висота, м</i>	<i>Ширина, м</i>	<i>Довжина, м</i>	<i>Висота, м</i>
50	6	1,8	3	6	3,6
100	6	3,6	6	6	3,6
250	9	3,6	6	12	3,6
500	12	4,8	12	12	3,6
1000	18	4,8	12	18	4,8
2000	24	4,8	18	24	4,8
3000	30	4,8	24	30	4,8
6000	-	-	36	36	4,8
10000	-	-	48	48	4,8
20000	-	-	66	66	4,8

Додаток 10

ЗАГАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ СОЛЕРОЗЧИННИКІВ

<i>Показник</i>	<i>Діаметр солерозчинника, мм</i>			
	<i>426</i>	<i>480</i>	<i>720</i>	<i>1020</i>
Площа, м ²	0,134	0,17	0,40	0,8
Висота, мм	1350	1792	1640	1810
Корисний об'єм солерозчинника, м ³ , / маса завантажуваної солі, кг	0,125 / 125	0,2 / 200	0,4 / 400	1,0 / 100
Висота фільтруючого звантаження, мм	460	480	560	500
Продуктивність при швидкості фільтрації 10 м/год., м ³ /год.	1,25	1,8	3,8	7,85
Робочий тиск, Мпа	0,6			
Діаметр зерен верхнього шару звантаження, мм	1,0 – 2,5			

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА РГЗ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

Кафедра водопостачання, водовідведення та очищення вод

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ

з дисципліни «Спеціальні методи водопідготовки»

на тему: «Зм'якшення води методом Na-катіонування»

Студента 5 курсу гр. _____
Спеціальності _____

(прізвище та ініціали)

Керівник: доц. К. Б. Сорокіна

Національна шкала _____

Кількість балів: ____ Оцінка: ____ ECTS ____

м. Харків – 2015 рік

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РГЗ

	ВАРІАНТИ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Витрата води, що підлягає пом'якшенню, м ³ /год:										
- для виробничих потреб	250	260	270	280	290	270	260	250	270	250
- для господарсько-питних потреб	470	480	470	460	450	450	460	450	470	480
Аналіз вихідної води:										
вміст завислих речовин, мг/дм ³	45	50	55	60	55	50	45	40	45	55
окислюваність, мгО ₂ /дм ³	11	12	13	14	13	12	11	10	9	11
вміст Са ²⁺ , мг/дм ³	176	172	170	176	177	176	172	170	176	177
вміст Mg ²⁺ , мг/дм ³	39,1	38,9	39,2	39,1	38,7	39,1	38,9	39,2	39,1	38,7
вміст НСО ₃ ⁻ , мг/дм ³	215	211	217	215	212	215	211	217	215	212
вміст Na ⁺ , мг/дм ³	28	34	35	33	29	28	34	35	33	29
вміст Fe ³⁺	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Необхідна жорсткість води для виробничих потреб, мг-екв/дм ³	0,07	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05
Катіоніт (Додаток 4)	2	4	6	8	10	12	14	16	7	3

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять, виконання
розрахунково-графічного завдання та самостійної роботи
з дисципліни

"СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ВОДОПІДГОТОВКИ"

*(для студентів 5-6 курсів денної і заочної
форм навчання спеціальностей
7.06010108 – Водопостачання та водовідведення
та 7.06010302 – Раціональне використання і охорона водних ресурсів)*

Укладач: **СОРОКІНА** Катерина Борисівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *К. Б. Сорокіна*

План 2013, поз. 98М

Підп. до друку 18.12.2013
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 4,2
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.